การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 1

Computer Programming I

การซ้อนลูป

(Nested Loop)

ภิญโญ แท้ประสาทสิทธิ์

Emails : pinyotae+111 at gmail dot com, pinyo at su.ac.th

Web : http://www.cs.su.ac.th/~pinyotae/compro1/

Facebook Group : ComputerProgramming@CPSU

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

สัปดาห์ที่ 8

การซ้อนลูปคืออะไร

การซ้อนลูปคือการกำหนดขั้นตอนการทำงานที่มีการวนซ้ำมากกว่าหนึ่งระดับ

- ถ้ามีสองระดับเรามักเรียกว่าลูปสองชั้น

```
for(int j = 0; j < M; ++j) {
  for(int i = 0; i < N; ++i) {
    printf("%d %d", j, i);
  }
}
```

ลูปชั้นนอก

ลูปชั้นใน

- ถ้ามีสามระดับเรามักเรียกว่าลูปสามชั้น
- โดยปรกติจะไม่ค่อยเจอลูปที่มากกว่าสามชั้นโดยตรง เพราะผู้เขียนโปรแกรมจะเลี่ยงไปใช้ฟังก์ชันประกอบเพื่อให้โค้ดในโปรแกรมเข้าใจง่ายขึ้น
  - แต่ในบริบทของการทำงานก็อาจจะเป็นลูป 4 ชั้น (หรือมากกว่า) เช่นเดิม

เราเอาลูปสองชั้นไปทำอะไร

ก่อนที่จะเรียนการเขียนลูปสองชั้น เรามาดูกันก่อนดีกว่าว่าเราเอาไปทำอะไรได้บ้าง

- ใช้ในการจัดการตาราง (คือมีข้อมูลหลายแถวและหลายคอลัมน์)
- ใช้ในการจัดการรูปภาพ (ที่จริงภาพดิจิทัลก็คือตารางที่มีหลายแถวและหลายคอลัมน์)
- ใช้ในการคำนวณที่ข้อมูลชุดเดิมถูกอ่านหรือเขียนซ้ำหลาย ๆ รอบ
  - ปรกติเท่าที่ผ่านมาเรามักจะมีข้อมูลหนึ่งชุดใหญ่ ๆ ที่เราอ่านเขียนครั้งเดียว
    → เราใช้ลูปหนึ่งชั้นสำหรับอ่านเขียนข้อมูลชุดนั้นในแต่ละรอบ
  - ถ้าต้องอ่านเขียนข้อมูลชุดเดิมหลายรอบก็มักจะต้องการลูป 2 ชั้น
  - เช่น จากแถวข้อมูลข้างล่างซึ่งมีช่องข้อมูลต่อกันไปรวม 15 ช่อง จงหาช่องตัวเลขที่ติดกัน 5 ช่องที่มีผลรวมตัวเลขข้างในมากที่สุด

7	2	3	1	0	4	4	6	5	3	5	3	6	5	2

* ในวิชานี้เราจะเรียนเฉพาะลูป 2 ชั้น เพราะต้องการเน้นที่พื้นฐาน แต่ถ้าใครเข้าใจหลักการทำงานก็มักจะทำลูป 3 ชั้นหรือ 4 ชั้นได้เองอย่างเป็นธรรมชาติ

ลองใช้ลูปสองชั้นกับข้อมูลในรูปแบบตาราง

สมมติว่าตารางของเรามีจำนวน 5 แถว และ 6 คอลัมน์

เราต้องการพิมพ์หมายเลขแถวและคอลัมน์ของตารางลงไปในแบบข้างล่าง

```
(1, 1) (1, 2) (1, 3) (1, 4) (1, 5) (1, 6)
(2, 1) (2, 2) (2, 3) (2, 4) (2, 5) (2, 6)
(3, 1) (3, 2) (3, 3) (3, 4) (3, 5) (3, 6)
(4, 1) (4, 2) (4, 3) (4, 4) (4, 5) (4, 6)
(5, 1) (5, 2) (5, 3) (5, 4) (5, 5) (5, 6)
```

นั่นคือเราต้องการแสดงตำแหน่งออกมาเป็นคู่ลำดับ โดยแสดงตำแหน่งแถวออกมาก่อนตำแหน่งคอลัมน์ เมื่อจบแต่ละแถวเราก็สั่งขึ้นบรรทัดใหม่ แล้วพิมพ์คู่ลำดับออกมาในลักษณะเดิม

โค้ดแสดงคู่ลำดับของหมายเลขแถวและคอลัมน์

```
#include <stdio.h>


void main() {
  for(int row = 1; row <= 5; ++row) {
    for(int col = 1; col <= 6; ++col) {
      printf("(%d, %d) ", row, col);
    }
    printf("\n");
  }
}
```

เนื่องจากผลลัพธ์ถูกจัดการตามแถวก่อน เราจึงเอาแถวออกมาเป็นลูปด้านนอก ส่วนคอลัมน์เป็นลูปด้านใน (ทราบหรือไม่ว่าทำไมจึงเป็นเช่นนี้)

ลูปด้านในพิมพ์ข้อความออกมา ขอให้เข้าใจด้วยว่าลูปด้านในจะต้องวนจนครบ 6 รอบก่อน มันถึงจะหลุดออกมา และใน 6 รอบนี้ค่า row จะเหมือนเดิมเพราะลูปด้านนอกไม่ถูกแตะต้อง ค่า row จึงไม่เปลี่ยน

พิมพ์ขึ้นบรรทัดใหม่หลังจากพิมพ์คอลัมน์จนครบ (จัดเป็นส่วนของลูปด้านนอก)

ลำดับการทำงานของลูป 2 ชั้น

- อันที่จริง ลำดับการทำงานของลูป 2 ชั้นนั้นก็เป็นไปตามแนวคิดของลูปชั้นเดียวทุกประการ เพียงแต่ผู้เรียนบางท่านยังไม่คล่องเรื่องลูปชั้นเดียว → ทำให้งงหนักยิ่งกว่าเดิม และเราควรกลับมาดูที่พื้นฐานตรงนี้ก่อน
- ขอใช้ลูปด้านในจากตัวอย่างที่แล้วเป็นกรณีศึกษา โดยกำหนดให้ row = 1 เป็นค่าคงที่ตายตัวไว้ก่อน

```
int row = 1;
for(int col = 1; col <= 6; ++col) {
  printf("(%d, %d) ", row, col);
}
printf("\n");
```

- ตอนนี้เราคงเห็นได้ชัดเจนขึ้นว่าทำไมตอนที่วนลูปด้านในแล้วค่าตัวเลขคอลัมน์จึงเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ แต่ตัวเลขแสดงแถวเป็นค่าคงที่ตลอด

ถ้าทำแบบเดิมซ้ำ ๆ ต่อกันไปล่ะ

ถ้าเราเขียนลูปแบบเดิมซ้ำ แต่เปลี่ยนค่า row ไปด้วย เราก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาสองแถว โดยมีเลขแถวเปลี่ยนไป ส่วนเลขคอลัมน์จะมีการวนเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดิม

```
int row = 1;
for(int col = 1; col <= 6; ++col) {
  printf("(%d, %d) ", row, col);
}
printf("\n");

row = 2;
for(int col = 1; col <= 6; ++col) {
  printf("(%d, %d) ", row, col);
}
printf("\n");
```


ที่จริงการเอาลูปมาครอบอีกชั้นก็คือการทำแบบเมื่อกี้นี่แหละ

ถ้าเราเอาลูปด้านนอกมาครอบ ผลก็คือเวลาที่มันทำลูปด้านในเสร็จ มันจะออกมาที่ printf("\n"); เสร็จแล้วก็ตีกลับขึ้นไปเปลี่ยนค่า row ใหม่ วนเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าเงื่อนไขลูปด้านนอกจะไม่เป็นจริง

```
for(int row = 1; row <= 5; ++row) {

  for(int col = 1; col <= 6; ++col) {
    printf("(%d, %d) ", row, col);
  }
  printf("\n");

}
```

ลองตอบคำถามนี้ดู

- โปรแกรมนี้จะพิมพ์เลขอะไรออกมาบ้าง

```
#include <stdio.h>

void main() {
    int sum = 0;
    for(int i = 0; i < 7; ++i) {
        for(int j = 0; j < 3; ++j) {
            sum = sum + 1;
        }
        printf("%d ", sum);
    }
}
```

- คำตอบ

```
3 6 9 12 15 18 21
```


แล้วคำถามนี้ล่ะ

- โปรแกรมนี้จะพิมพ์เลขอะไรออกมาบ้าง

```
#include <stdio.h>

void main() {
    for(int i = 0; i < 7; ++i) {
        for(int j = 0; j < 3; ++j) {
            printf("%d ", i + j);
        }
    }
}
```

- คำตอบ

```
0 1 2 1 2 3 2 3 4 3 4 5 4 5 6 5 6 7 6 7 8
```

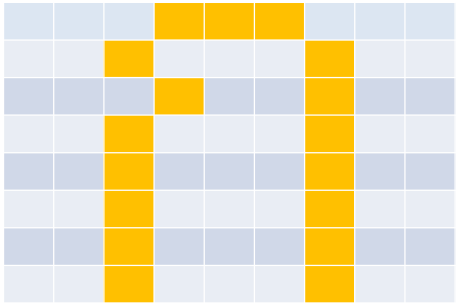

ลูปสองชั้นในการจัดการรูปภาพ

- ที่จริงภาพดิจิทัลนั้นมีลักษณะเป็นตารางเก็บข้อมูลที่มีช่องตารางอยู่อย่างหนาแน่น

- ช่องแต่ละช่องในตารางแท้จริงแล้วก็คือองค์ประกอบของภาพ

ลูปสองชั้นในการจัดการรูปภาพ

- ที่จริงภาพดิจิทัลนั้นมีลักษณะเป็นตารางเก็บข้อมูลที่มีช่องตารางอยู่อย่างหนาแน่น



- ช่องแต่ละช่องในตารางแท้จริงแล้วก็คือองค์ประกอบของภาพ
- ถ้าเราเลือกใส่ค่าสีที่เหมาะสมลงไปในตารางมันก็จะกลายเป็นภาพได้

แต่เรายังทำขนาดนั้นไม่ได้ในตอนนี้

- เนื่องจากการเก็บข้อมูลในภาพนั้นจำเป็นต้องมีตารางหรือแถวข้อมูลที่ทำให้เราอ่านเขียนค่าได้หลายครั้ง ทำให้เราจำเป็นที่จะต้องใช้โครงสร้างข้อมูลที่เอื้ออำนวยต่องานแบบนั้น
- โครงสร้างที่เหมาะสมคืออาเรย์ ซึ่งเราจะเรียนในสัปดาห์ถัดไป
- ในตอนนี้เราจะมาเรียนรู้วิธีใช้ลูปสองชั้นโดยไม่ต้องใช้อาเรย์ไปก่อน
  → ดังนั้นรูปแบบการใช้งานจะค่อนข้างจำกัด
  → แต่เป็นขั้นตอนการเรียนรู้ที่สำคัญมาก เพราะลูปสองชั้นถ้าเอาไปใช้กับอาเรย์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมมันจะมีประโยชน์มากอย่างไม่น่าเชื่อ

พิมพ์ตัวเลขขั้นบันได

- เพื่อที่จะเรียนรู้แนวคิดลูปสองชั้น เรามาดูตัวอย่างเพิ่มเติม
- สมมติว่าผู้ใช้ใส่เลข 5 เข้ามาแล้วเราต้องการพิมพ์ว่า

```
1
1 2
1 2 3
1 2 3 4
1 2 3 4 5
```

- ถ้าผู้ใช้ใส่เลข 10 เข้ามา โปรแกรมก็ต้องไล่ไปจนถึง 10 ถ้าใส่จำนวนเต็มบวก N เข้ามา ก็ต้องไล่ไปเรื่อย ๆ จนถึง N
- แสดงว่าต้องมี N แถว ส่วนจำนวนคอลัมน์ก็ตรงกับหมายเลขแถวที่โปรแกรมกำลังพิมพ์นั่นเอง

พิจารณาการพิมพ์ในแต่ละแถว

- ลองกำหนดเลขแถวตายตัวไว้ที่ int row = 4; ก่อน
  → แสดงว่าเราจะพิมพ์เลข 1 2 3 4
- โค้ดที่ได้ก็จะมีหน้าตาทำนองนี้

```
int row = 4;
for(int col = 1; col <= row; ++col) {
    printf("%d ", col);
}
printf("\n");
```

- ที่เหลือก็คือเราต้องเอาลูปอีกชั้นมาครอบเพื่อให้มันเปลี่ยนเลขแถวได้อย่างที่ควรจะเป็น
  (ลองคิดดูด้วยตัวเองให้ดีก่อนว่าควรจะเขียนลูปด้านนอกอย่างไร)

เอาลูปด้านนอกมาแปะเพื่อเปลี่ยนค่า row

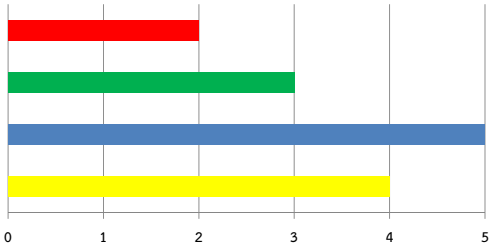
- จุดหลักคือเปลี่ยนค่า row ให้ได้อย่างที่ควรเป็น ถ้าทำได้ตัวเลขที่ถูกพิมพ์ออกมาในแต่ละแถวก็จะออกมาอย่างที่ควรเป็น (เพราะเลขแถวมันถูกนั่นเอง)

```
int N;
scanf("%d", &N);
for(int row = 1; row <= N; ++row) {
    for(int col = 1; col <= row; ++col) {
        printf("%d ", col);
    }
    printf("\n");
}
```

- สังเกตหรือไม่ว่าจริง ๆ แล้วการคิดมาจากลูปด้านในก่อนเป็นเรื่องธรรมดา
- สำหรับคนที่ยังไม่คล่องควรคิดมาตามแนวทางนี้ แบบที่คิดรวดเดียวจบมันทำได้เฉพาะคนที่เข้าใจและเริ่มชำนาญกับเรื่องลูปสองชั้นแล้ว

พิมพ์กราฟแท่งแนวนอนแบบใช้ข้อความแทน

- คิดว่าเราคงเคยเห็นกราฟแท่งทำนองนี้มาก่อน



- เราจะแทนค่าออกมาด้วยจำนวนเครื่องหมาย * จากข้างบนไปเป็น

```
**
***
*****
****
```


โปรแกรมพิมพ์กราฟแนวนอน

- **ข้อมูลเข้า** เป็นเลขจำนวนเต็มบวกหรือ 0 จำนวน N ค่าที่บอกความยาวของกราฟแท่งจำนวน N แท่ง จุดสิ้นสุดของข้อมูลคือเลขจำนวนเต็มลบ
- **ตัวอย่าง** `2 3 5 4 -1`
- **ผลลัพธ์**

  กราฟแท่งแนวนอน หนึ่งแท่งต่อหนึ่งบรรทัด แต่ละแท่งประกอบด้วยเครื่องหมาย * มีจำนวนตามตัวเลขแต่ละค่าที่ผู้ใช้ใส่เข้ามา

แนวคิด

- เรารู้ว่าจากตัวเลขแต่ละตัว เราจะต้องพิมพ์ดอกจันออกมาตามค่าตัวเลขนั้น
  - นั่นคือเราต้องวนลูปพิมพ์ดอกจันตามจำนวนรอบที่ถูกระบุด้วยตัวเลขดังกล่าว
  - เมื่ออ่านเลขเข้ามา โปรแกรมก็ต้องวนลูปทำนองนี้ เพื่อพิมพ์ดอกจัน ...

```
int k;
scanf("%d", &k);
for(int i = 0; i < k; ++i) {
  printf("*");
}
printf("\n");
```

- โค้ดข้างบนคือใจความ แต่เราต้องนำทุกอย่างมารวมกันเพื่อพิมพ์กราฟให้ครบทุกแท่งและหยุดทำงานเมื่อพบเลขติดลบตามข้อกำหนด
- และเพราะเราต้องวนพิมพ์กราฟทุกแท่ง จึงต้องมีลูปมาครอบอีกชั้น

ลูปสองชั้นที่สมบูรณ์

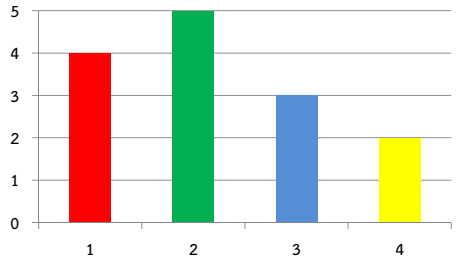
- ในโค้ดทางด้านใต้ เราเอาลูป while(1) มาครอบเพื่อให้โปรแกรมวนรับค่าความยาวกราฟมาพิมพ์เพิ่มได้เรื่อย ๆ จนกว่าจะเจอเลขติดลบ
- เราต้องมีการ break ที่ลูปด้านนอก เพื่อสั่งหยุดลูปด้านนอกและจบโปรแกรมได้

```
while(1) {
  int k;
  scanf("%d", &k);
  if(k < 0)
    break;
  for(int j = 0; j < k; ++j) {
    printf("*");
  }
  printf("\n");
}
```

- break อยู่ในลูปชั้นใด โปรแกรมก็จะหยุดลูปในชั้นนั้น

แล้วถ้าเป็นกราฟแท่งแนวตั้งล่ะ

- สมมติว่าเรามีกราฟแท่งแนวตั้งแบบนี้



- แล้วอยากได้แบบนี้

```
    *
  * *
  * * *
  * * * *
  * * * *
```


ที่จริงเราทำไม่ได้ล่ะ (ด้วยความรู้แค่นี้)

- เมื่อเปลี่ยนมาเป็นกราฟแท่งแนวตั้ง เราอาจจะเข้าใจไปว่าทุกอย่างมันก็น่าจะคล้าย ๆ เดิม และเราใช้วิธีเดิม ๆ ได้
- แต่เอาเข้าจริง ปรากฏว่าเราทำไม่ได้ เพราะกว่าจะรู้ว่าควรตั้งฐานกราฟไว้ที่บรรทัดใด เราก็ต้องอ่านข้อมูลให้ครบก่อนเพื่อที่จะหากราฟแท่งที่สูงที่สุด
  - แต่พอรู้ข้อมูลตรงนี้แล้ว ก็จะมีปัญหาว่าค่าตัวเลขที่อ่านมาไม่ได้ถูกเก็บไว้
  - จะสร้างตัวแปรมาเก็บไว้ก็คงต้องสร้างมาเป็นร้อย ถ้าแท่งมันมีเป็นร้อย
  - ปัญหาทำนองนี้เราควรใช้อาเรย์เข้าช่วยเพื่อรวมค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงเป็นชุดเดียวกันและใช้โค้ดเดียวกันให้ได้
- ดังนั้นเราต้องเก็บปัญหาแบบที่จำนวนแท่งมีเป็นร้อยเอาไว้ก่อน มาลองทำแบบที่มันมีแค่ 3 แท่งแทนเพื่อเรียนแนวคิดของลูป 2 ชั้นขั้นพื้นฐาน

เขียนกราฟแท่งแนวตั้ง 3 แท่ง

- กำหนดให้กราฟแท่งแนวตั้งมีทั้งหมด 3 แท่ง มีความสูง x, y, และ z ค่าเหล่านี้เป็นจำนวนเต็มบวกหรือศูนย์ (ศูนย์คือเป็นแท่งเปล่า)
- กราฟทั้งสามแท่งต้องมีฐานจากบรรทัดเดียวกัน และบรรทัดแรกจะต้องมีดอกจันของกราฟแท่งที่สูงที่สุดอยู่ด้วย (กล่าวคือห้ามมีบรรทัดเปล่า)

แนวคิด

- แบบนี้ก็แสดงว่าเราจะต้องหาให้ได้ก่อนว่าความสูงของกราฟที่สูงสุดคือเท่าใด
- และเราก็ต้องคำนวณให้ได้ว่ากราฟแต่ละแท่งจะมีช่องว่างกี่บรรทัดจนกว่าจะมีดอกจันเป็นอันแรก
- จำนวนบรรทัดเปล่าที่ว่าเป็นสิ่งที่สัมพันธ์กับกราฟแท่งที่สูงที่สุด

หาความสูงแท่งกราฟที่มากที่สุด

```
int x, y, z;
scanf("%d %d %d", &x, &y, &z);
int max = INT_MIN;

if(x > max)
    max = x;
if(y > max)
    max = y;
if(z > max)
    max = z;
```

คำถามชวนคิด เวลาจะวาดกราฟแต่ละแท่ง เราต้องไล่เรียงทีละบรรทัด แล้วเราจะรู้ได้อย่างไรว่า ในแถวที่กำลังดำเนินการอยู่ กราฟแท่งนี้ต้องถูกเขียนด้วยช่องว่างหรือดอกจัน?

ออกแรงคิดสักเล็กน้อย

- ดูกราฟตัวอย่างข้างล่าง (x = 2, y = 5, z = 3)

```
   *
   *
   * *
 * * *
 * * *
```

ที่นี้ดูแถวกับคอลัมน์แต่ละอัน

	คอลัมน์ 1	คอลัมน์ 2	คอลัมน์ 3
แถว 1		*	
แถว 2		*	
แถว 3		*	*
แถว 4	*	*	*
แถว 5	*	*	*

สังเกตเห็นหรือไม่ว่า ความแตกต่างระหว่างความสูงของแท่งที่สูงสุดกับแท่งที่เราพิจารณาก็คือจำนวนช่องว่างของแท่งกราฟนั้น ๆ (เช่น แท่งแรกมีช่องว่าง 3 แถวก็เพราะว่า 5 – 2 = 3 นั่นเอง)

ส่วนของการพิมพ์แท่งกราฟ

- เราต้องไล่ไปทีละแถว เพราะมันเป็นข้อจำกัดของการพิมพ์ผลลัพธ์
- จากการวิเคราะห์ในหน้าที่แล้ว ถ้าหากเอาค่าสูงสุดลบด้วยความสูงของแท่งที่สนใจจะได้จำนวนแถวที่เป็นช่องว่าง → ถ้าหมายเลขแถวเกินจุดนี้ไปก็แสดงว่าพิมพ์ *

```
for(int row = 1; row <= max; ++row) {
  if(row > max - x) printf("*");
  else printf(" ");

  if(row > max - y) printf("*");
  else printf(" ");

  if(row > max - z) printf("*");
  else printf(" ");

  printf("\n");
}
```


แล้วตกลงมันเป็นลูปชั้นเดียวใช่หรือเปล่า

- ในกรณีของตัวอย่างที่ถูกแปลงให้ง่ายลงนี้เป็นลูปชั้นเดียว
- เพราะเราเขียนโค้ดซ้ำ ๆ ตรงค่าตัวแปร x, y, และ z
  - ถ้าเรามีร้อยแท่งก็คงจะต้องมี x1, x2, x3, ..., x100
  - แต่การใช้อาเรย์เราจะผนวกตัวแปรเข้าภายใต้ชื่อเดียวกันได้ และทำให้เราสามารถที่จะเปลี่ยนโค้ดที่ดูซ้ำ ๆ ไปเป็นลูปแทน
- เอาไว้มาดูอีกทีตอนเรียนเรื่องอาเรย์แล้ว จะได้ภาคสมบูรณ์ออกมาทีหลัง

โจทย์พิมพ์กรอบสี่เหลี่ยม

- สมมติว่าผู้ใช้ใส่เลข 7 เข้ามาแล้วเราอยากได้กรอบตามแบบข้างล่างนี้

```
* * * * * * *
*           *
*           *
*           *
*           *
*           *
* * * * * * *
```

- ขอให้สังเกตให้ดีว่ามันมีบางช่วงของงานที่เหมือนกัน และบางช่วงที่ต่างกัน
  → ลูปของเราอาจจะต้องแบ่งเป็นหลาย ๆ ส่วน เราจะใช้ลูปที่เหมือนกันไปเสียทุกรอบก็คงจะไม่ดีเท่าไหร่ (เรื่องทำนองนี้ถือว่าปรกติ)
- **หมายเหตุ** ดอกจันในบรรทัดแรกและสุดท้ายถูกคั่นด้วยช่องว่างหนึ่งช่อง

แยกงานเป็นส่วน ๆ

- บรรทัดแรกกับบรรทัดสุดท้ายเหมือนกัน
- ส่วนตรงกลางจะเป็นอีกกลุ่มที่ทำแบบเดียวกัน (แต่เป็นคนละพวกกับบรรทัดแรก)
- ดังนั้นงานจะถูกออกแบบมาเป็นสามส่วน
  1. พิมพ์บรรทัดแรก
  2. พิมพ์บรรทัดช่วงกลาง
  3. พิมพ์บรรทัดสุดท้าย (ใช้โค้ดเดียวกับของบรรทัดแรกได้)

รับข้อมูลความกว้างของกรอบ และ พิมพ์ดอกจันบรรทัดแรก

- โค้ดนี้พิมพ์ดอกจันคั่นด้วยช่องว่างและตบท้ายด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่
- เราพิมพ์จำนวนดอกจันออกมาเป็นจำนวน N ค่า ในแถวแรก

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

for(int col = 1; col <= N; ++col) {
    printf("* ");
}
printf("\n");
```


พิมพ์แถวตรงกลาง

- จากทั้งหมด N แถว เราจะพิมพ์แถวที่ 2 ถึง N – 1 ในลักษณะที่มีเฉพาะดอกจันตรงขอบซ้ายขวา
- ดังนั้นตำแหน่งคอลัมน์แรกและคอลัมน์สุดท้ายในแถวจึงเป็นจุดพิเศษ → ไม่ต้องใช้ลูป
- ส่วนตรงกลางเป็นของที่เหมือนกัน ๆ ใช้การวนซ้ำได้

```
for(int row = 2; row <= N - 1; ++row) {
    printf("* ");
    for(int col = 2; col < N; ++col) {
        printf("  ");
    }
    printf("*\n");
}
```


ปิดท้ายด้วยแถวสุดท้าย

- แถวสุดท้ายทำเหมือนกับแถวแรก แต่เราไม่ต้องสั่งขึ้นบรรทัดใหม่ก็ได้ (เพราะมันเป็นบรรทัดสุดท้าย ขึ้นบรรทัดใหม่ไปก็ไม่ได้อะไรขึ้นมา)

```
for(int col = 1; col <= N; ++col) {
    printf("* ");
}
```

รวมร่างเป็นโปรแกรมพิมพ์กรอบ

```
int N;
scanf("%d", &N);
for(int col = 1; col <= N; ++col) {
    printf("* ");
}
printf("\n");

for(int row = 2; row <= N - 1; ++row) {
    printf("* ");
    for(int col = 2; col < N; ++col) {
        printf("  ");
    }
    printf("*\n");
}

for(int col = 1; col <= N; ++col) {
    printf("* ");
}
```


สรุปใจความ

- งานที่ใช้ลูปสองชั้นมีลำดับการคิดคล้ายกับลูปชั้นเดียว
  - พอมันวิ่งเข้าไปที่ลูปด้านใน มันก็ต้องทำของข้างในให้เรียบร้อยหมดก่อน จึงค่อยหลุดลงมาต่อด้านท้าย และวนขึ้นไปต่อที่ลูปด้านนอกได้
  - เวลาที่จินตนาการไม่ออกให้มองว่าลูปด้านในเป็นเหมือนงานบรรทัดหนึ่งที่ทำเสร็จแล้วก็ข้ามไปทำบรรทัดถัดไป
  - ด้วยเหตุนี้เราจึงอาจจะลองเริ่มคิดจากเนื้อหาของลูปด้านในให้เสร็จก่อน แล้วค่อยเอาลูปด้านนอกมาครอบอีกชั้น
- ถ้างานมันมีลักษณะแบ่งเป็นหลาย ๆ แบบ ลูปของเราจะมีหลาย ๆ ชุดก็สมเหตุผลดี หรือถ้าจะมีชุดเดียวใหญ่ ๆ ก็อาจจะต้องพึ่งพาการใช้ if จำนวนมากเพื่อแยกประเภทงาน (วิธีหลังนี้อาจจะทำให้ยุ่งกว่าเดิม)