

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
TRƯỜNG CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG



BÀI THỰC HÀNH SỐ 7: SINH MÃ - CODE GENERATION
HỌC PHẦN: THỰC HÀNH XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH DỊCH

Mã lớp học: 161629
GVHD: Nguyễn Thị Thu Hương
TA: Đỗ Gia Huy
Sinh viên thực hiện: Trịnh Hữu An - 20225593

- Hà Nội, tháng 1 năm 2026 -

Mục lục

1	Phân tích chi tiết Example 1 - Chương trình không có chương trình con	3
1.1	Source Code	3
1.2	Mô tả chương trình	3
1.3	Generated Code	3
1.4	Phân tích chi tiết từng phần	4
1.4.1	Khởi tạo Stack Frame	4
1.4.2	Khởi tạo biến $S := 0$	4
1.4.3	Khởi tạo biến $I := 1$	5
1.4.4	Vòng lặp WHILE $I \leq 5$	5
1.4.5	In kết quả (Instructions 25-27)	6
1.4.6	Kết thúc chương trình (Instruction 28)	7
2	Phân tích chi tiết Example 3 - Chương trình có chương trình con	8
2.1	Source Code	8
2.2	Mô tả chương trình	8
2.3	Generated Code	9
2.4	Phân tích chi tiết	11
2.4.1	Phần PROCEDURE HANOI (Instructions 0-40)	11
2.4.2	Phần Main Program (Instructions 41-102)	12

1 Phân tích chi tiết Example 1 - Chương trình không có chương trình con

1.1 Source Code

Listing 1: example1.kpl - Chương trình tính tổng bình phương

```
1 PROGRAM CODEGEN9;  
2 TYPE T = INTEGER;  
3 VAR S : T;  
4     I : INTEGER;  
5  
6 BEGIN  
7     S:=0;  
8     I:=1;  
9     WHILE I<=5 DO  
10    BEGIN  
11        S:=S+I*I;  
12        I:=I+1;  
13    END;  
14    CALL WRITEI(S);  
15    CALL WRITELN;  
16 END.
```

1.2 Mô tả chương trình

Chương trình thực hiện các bước sau:

1. Khởi tạo biến $S = 0$ và $I = 1$
2. Vòng lặp WHILE: Khi $I \leq 5$, thực hiện:
 - $S := S + I \cdot I$ (cộng bình phương của I vào S)
 - $I := I + 1$ (tăng I lên 1)
3. In giá trị S ra màn hình
4. Xuống dòng

Kết quả mong đợi: $S = 0 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 = 55$

1.3 Generated Code

Listing 2: Generated Code cho example1.kpl

```
1 0: J 1  
2 1: INT 6  
3 2: LA 0,4  
4 3: LC 0  
5 4: ST  
6 5: LA 0,5  
7 6: LC 1  
8 7: ST
```

```

9  8:  LV 0,5
10 9:  LC 5
11 10: LE
12 11: FJ 25
13 12: LA 0,4
14 13: LV 0,4
15 14: LV 0,5
16 15: LV 0,5
17 16: ML
18 17: AD
19 18: ST
20 19: LA 0,5
21 20: LV 0,5
22 21: LC 1
23 22: AD
24 23: ST
25 24: J 8
26 25: LV 0,4
27 26: WRI
28 27: WLN
29 28: HL

```

1.4 Phân tích chi tiết từng phần

1.4.1 Khởi tạo Stack Frame

Inst	Code	Giải thích
0	J 1	Jump đến instruction 1 (bỏ qua code của procedure declarations)
1	INT 6	Cấp phát stack frame với kích thước 6 words. <ul style="list-style-type: none"> • Offset 0-3: Reserved cho return address, static link, dynamic link, etc. • Offset 4: Biến S (kiểu INTEGER) • Offset 5: Biến I (kiểu INTEGER)

1.4.2 Khởi tạo biến S := 0

Inst	Code	Giải thích
2	LA 0,4	Load Address: Đẩy địa chỉ của biến S (offset 4, level 0) lên stack Stack: [addr_S]
3	LC 0	Load Constant: Đẩy hằng số 0 lên stack Stack: [addr_S, 0]
4	ST	Store: Lấy giá trị 0 từ đỉnh stack, lấy địa chỉ từ dưới, gán S = 0 Stack: [] (rỗng sau khi store)

1.4.3 Khởi tạo biến $I := 1$

Inst	Code	Giải thích
5	LA 0,5	Load Address: Đẩy địa chỉ của biến I (offset 5, level 0) lên stack Stack: [addr_I]
6	LC 1	Load Constant: Đẩy hằng số 1 lên stack Stack: [addr_I, 1]
7	ST	Store: Gán $I = 1$ Stack: []

1.4.4 Vòng lặp WHILE $I \leq 5$

Điều kiện kiểm tra (Instructions 8-11)

Inst	Code	Giải thích
8	LV 0,5	Load Value: Đẩy giá trị của biến I lên stack Stack: [I]
9	LC 5	Load Constant: Đẩy hằng số 5 lên stack Stack: [I, 5]
10	LE	Less or Equal: So sánh $I \leq 5$ Lấy 2 giá trị từ stack, so sánh, đẩy kết quả boolean lên stack Stack: [true/false]
11	FJ 25	False Jump: Nếu kết quả là false , nhảy đến instruction 25 (thoát vòng lặp) Nếu true , tiếp tục thực hiện thân vòng lặp

Thân vòng lặp: $S := S + I * I$ (Instructions 12-18) Đây là phần phức tạp nhất, cần tính toán biểu thức $S + I * I$. Thứ tự thực hiện:

1. Tính $I * I$ trước (theo quy tắc precedence)
2. Sau đó cộng với S
3. Cuối cùng gán vào S

Inst	Code	Giải thích
12	LA 0,4	Load Address của S (để sau này store kết quả) Stack: [addr_S]
13	LV 0,4	Load Value của S (giá trị hiện tại của S) Stack: [addr_S, S]
14	LV 0,5	Load Value của I (toán hạng thứ nhất cho phép nhân) Stack: [addr_S, S, I]

15	LV 0,5	Load Value của I (toán hạng thứ hai cho phép nhân) Stack: [addr_S, S, I, I]
16	ML	Multiply: Nhân $I * I$ Lấy 2 giá trị cuối từ stack, nhân, đẩy kết quả lên Stack: [addr_S, S, $I*I$]
17	AD	Add: Cộng $S + (I*I)$ Lấy 2 giá trị cuối từ stack, cộng, đẩy kết quả lên Stack: [addr_S, $S+I*I$]
18	ST	Store: Gán $S = S + I*I$ Lấy giá trị $S+I*I$ từ đỉnh stack, lấy địa chỉ addr_S từ dưới, gán Stack: []

Lưu ý quan trọng: Thứ tự các instruction phải đúng để stack operations hoạt động chính xác. Nếu thiếu bất kỳ LV nào, stack sẽ ở trạng thái sai và kết quả sẽ không đúng.

Tăng biến $I := I + 1$ (Instructions 19-23)

Inst	Code	Giải thích
19	LA 0,5	Load Address của I Stack: [addr_I]
20	LV 0,5	Load Value của I (giá trị hiện tại) Stack: [addr_I, I]
21	LC 1	Load Constant 1 Stack: [addr_I, I, 1]
22	AD	Add: $I + 1$ Stack: [addr_I, $I+1$]
23	ST	Store: Gán $I = I + 1$ Stack: []

Nhảy về đầu vòng lặp (Instruction 24)

Inst	Code	Giải thích
24	J 8	Jump: Nhảy vô điều kiện về instruction 8 (đầu vòng lặp) Kiểm tra lại điều kiện $I \leq 5$

1.4.5 In kết quả (Instructions 25-27)

Inst	Code	Giải thích
25	LV 0,4	Load Value của S (để in ra) Stack: [S]

26	WRI	Write Integer: In giá trị integer từ đỉnh stack ra màn hình Đây là predefined procedure WRITEI(S) Stack: []
27	WLN	Write Line: Xuống dòng Đây là predefined procedure WRITELN

1.4.6 Kết thúc chương trình (Instruction 28)

Inst	Code	Giải thích
28	HL	Halt: Dừng chương trình

2 Phân tích chi tiết Example 3 - Chương trình có chương trình con

2.1 Source Code

Listing 3: example3.kpl - Tower of Hanoi với PROCEDURE

```
1 PROGRAM EXAMPLE3; (* TOWER OF HANOI *)
2 VAR I: INTEGER;
3     N: INTEGER;
4     P: INTEGER;
5     Q: INTEGER;
6     C: CHAR;
7
8 PROCEDURE HANOI(N: INTEGER; S: INTEGER; Z: INTEGER);
9 BEGIN
10  IF N != 0 THEN
11    BEGIN
12      CALL HANOI(N-1, S, 6-S-Z);
13      I:=I+1;
14      CALL WRITELN;
15      CALL WRITEI(I);
16      CALL WRITEI(N);
17      CALL WRITEI(S);
18      CALL WRITEI(Z);
19      CALL HANOI(N-1, 6-S-Z, Z)
20    END
21  END; (*END OF HANOI*)
22
23 BEGIN
24  FOR N := 1 TO 4 DO
25    BEGIN
26      FOR I:=1 TO 4 DO
27        CALL WRITEC(' ');
28      C := READC;
29      CALL WRITEC(C)
30    END;
31  P:=1;
32  Q:=2;
33  FOR N:=2 TO 4 DO
34    BEGIN
35      I:=0;
36      CALL HANOI(N, P, Q);
37      CALL WRITELN
38    END
39  END. (* TOWER OF HANOI *)
```

2.2 Mô tả chương trình

Chương trình bao gồm:

1. **PROCEDURE HANOI**: Hàm đệ quy giải bài toán Tower of Hanoi

- Nhận 3 tham số: N (số đĩa), S (cột nguồn), Z (cột đích)

- Nếu $N \neq 0$, gọi đệ quy và in thông tin

2. Main program:

- Vòng lặp FOR đọc 4 ký tự và in ra
- Khởi tạo $P=1$, $Q=2$
- Vòng lặp FOR gọi HANOI với N từ 2 đến 4

2.3 Generated Code

Listing 4: Generated Code cho example3.kpl

```

1 0: J 41
2 1: J 2
3 2: INT 7
4 3: HL
5 4: LC 0
6 5: NE
7 6: FJ 41
8 7: HL
9 8: LC 1
10 9: SB
11 10: HL
12 11: LC 6
13 12: HL
14 13: SB
15 14: HL
16 15: SB
17 16: HL
18 17: LA 0,4
19 18: LV 0,4
20 19: LC 1
21 20: AD
22 21: ST
23 22: WLN
24 23: LV 0,4
25 24: WRI
26 25: HL
27 26: WRI
28 27: HL
29 28: WRI
30 29: HL
31 30: WRI
32 31: HL
33 32: LC 1
34 33: SB
35 34: LC 6
36 35: HL
37 36: SB
38 37: HL
39 38: SB
40 39: HL
41 40: HL
42 41: INT 9
43 42: LA 0,5
44 43: LC 1

```

45	44: ST
46	45: LV 0,5
47	46: LC 4
48	47: LE
49	48: FJ 75
50	49: LA 0,4
51	50: LC 1
52	51: ST
53	52: LV 0,4
54	53: LC 4
55	54: LE
56	55: FJ 64
57	56: LC 32
58	57: WRC
59	58: LA 0,4
60	59: LV 0,4
61	60: LC 1
62	61: AD
63	62: ST
64	63: J 52
65	64: LA 0,8
66	65: RC
67	66: ST
68	67: LV 0,8
69	68: WRC
70	69: LA 0,5
71	70: LV 0,5
72	71: LC 1
73	72: AD
74	73: ST
75	74: J 45
76	75: LA 0,6
77	76: LC 1
78	77: ST
79	78: LA 0,7
80	79: LC 2
81	80: ST
82	81: LA 0,5
83	82: LC 2
84	83: ST
85	84: LV 0,5
86	85: LC 4
87	86: LE
88	87: FJ 102
89	88: LA 0,4
90	89: LC 0
91	90: ST
92	91: LV 0,5
93	92: LV 0,6
94	93: LV 0,7
95	94: HL
96	95: WLN
97	96: LA 0,5
98	97: LV 0,5
99	98: LC 1
100	99: AD
101	100: ST
102	101: J 84

2.4 Phân tích chi tiết

2.4.1 Phần PROCEDURE HANOI (Instructions 0-40)

Đây là phần code của PROCEDURE HANOI. Tuy nhiên, do Lab 7 - Code Gen 1 **chưa implement** việc gọi procedure và xử lý parameters, nên nhiều chỗ được thay thế bằng HL (halt).

Inst	Code	Giải thích
0	J 41	Jump đến main program (bỏ qua procedure code)
1	J 2	Jump đến body của procedure
2	INT 7	Cấp phát stack frame cho procedure (7 words)
3	HL	CHƯA IMPLEMENT: Load parameter N Trong Lab 7, chưa có cơ chế load parameters từ stack
4-5	LC 0, NE	So sánh $N \neq 0$ Tuy nhiên thiếu giá trị N (đã bị HL ở instruction 3)
6	FJ 41	Nếu false, exit procedure
7-16	HL (nhiều lần)	CHƯA IMPLEMENT: <ul style="list-style-type: none"> • Instruction 7: Load parameter S • Instruction 10: Load parameter Z • Instruction 12: Tính $6-S-Z$ • Instruction 15: Gọi CALL HANOI($N-1, S, 6-S-Z$)
17-21	LA 0,4, LV 0,4, LC 1, AD, ST	ĐÚNG: $I := I + 1$
22	WLN	ĐÚNG: CALL Writeln
23-24	LV 0,4, WRI	ĐÚNG: CALL WriteI(I)
25-30	HL, WRI, HL, WRI, HL, WRI	CHƯA IMPLEMENT: <ul style="list-style-type: none"> • Thiếu load parameters N, S, Z • CALL WriteI(N), CALL WriteI(S), CALL WriteI(Z)
31-39	HL (nhiều lần)	CHƯA IMPLEMENT: CALL HANOI($N-1, 6-S-Z, Z$) - Gọi đệ quy

2.4.2 Phần Main Program (Instructions 41-102)

Phần main program được sinh mã đầy đủ và chính xác.

Khởi tạo Stack Frame (Instruction 41)

Inst	Code	Giải thích
41	INT 9	Cấp phát stack frame với 9 words: <ul style="list-style-type: none">• Offset 4: I (INTEGER)• Offset 5: N (INTEGER)• Offset 6: P (INTEGER)• Offset 7: Q (INTEGER)• Offset 8: C (CHAR)

Vòng lặp FOR N := 1 TO 4 (Instructions 42-74)

Inst	Code	Giải thích
42-44	LA 0,5, LC 1, ST	Khởi tạo N := 1
45-48	LV 0,5, LC 4, LE, FJ 75	Điều kiện N <= 4
49-63	Vòng lặp FOR I := 1 TO 4 (nested loop) LA 0,4, LC 1, ST LV 0,4, LC 4, LE, FJ 64 LC 32, WRC LA 0,4, LV 0,4, LC 1, AD, ST J 52	I := 1 I <= 4 CALL WRITEC(' ') - in space I := I + 1 Jump về đầu vòng lặp I
64-68	LA 0,8, RC, ST, LV 0,8, WRC	ĐÚNG: <ul style="list-style-type: none">• C := READC - đọc ký tự• CALL WRITEC(C) - in ký tự
69-73	LA 0,5, LV 0,5, LC 1, AD, ST	Tăng N: N := N + 1
74	J 45	Jump về đầu vòng lặp N

Khởi tạo P và Q (Instructions 75-80)

Inst	Code	Giải thích
75-77	LA 0,6, LC 1, ST	ĐÚNG: P := 1
78-80	LA 0,7, LC 2, ST	ĐÚNG: Q := 2

Vòng lặp FOR N := 2 TO 4 (Instructions 81-101)

Inst	Code	Giải thích
81-83	LA 0,5, LC 2, ST	Khởi tạo N := 2
84-87	LV 0,5, LC 4, LE, FJ 102	Điều kiện N <= 4
88-90	LA 0,4, LC 0, ST	ĐÚNG: I := 0
91-94	LV 0,5, LV 0,6, LV 0,7, HL	CHƯA IMPLEMENT: CALL HANOI(N,P,Q) - Gọi procedure với parameters Cần load N, P, Q lên stack và gọi procedure
95	WLN	ĐÚNG: CALL WRITELN
96-100	LA 0,5, LV 0,5, LC 1, AD, ST	Tăng N: N := N + 1
101	J 84	Jump về đầu vòng lặp