1. 解題說明及申論

這程式使用鏈結串列來實現多項式的存儲和操作，每一個節點 Node 代表多項式中的一項，包含係數和指數，還有一個指針用來連接下一個節點。而多項式類別 Polynomial 用一個環狀鏈結串列來儲存整個多項式，並透過頭節點作為起點。這樣可以動態管理記憶體，不用固定大小來存多項式，用在不同大小的多項式。程式裡面有合併、刪除、加法、減法、乘法和多項式帶值。

```
// 定義節點類別，用於鏈結串列的每一項
class Node {
public:
    double coef;  // 系數
    int exp;      // 指數
    Node* next;   // 指向下一個節點的指針
```

```
    // 節點構造函數 係數為 0 指數為 0 指向下一個節點為
nullptr
    Node(double c = 0, int e = 0, Node* n = nullptr) :
coef(c), exp(e), next(n) {}
};
// 定義多項式類別
class Polynomial {
private:
    Node* head; // 指向頭節點的指針 多項式的起始位置
```

這段程式碼就是把整個多項式清掉。先看看有沒有東西，如果連頭節點都沒有，就直接結束。如果有的話，從頭節點的下一個節點開始，一個一個把多項式的每一項刪掉。程式先暫時記住當前節點的位置，然後跳到下一個節點，再把剛才的節點刪掉。這樣一路刪到所有的項目都沒了，最後連頭節點也刪掉，然後把頭設成空的，表示多項式已經清理完了。

```
    // 清除多項式中的所有項目
    void clear() {
        if (!head) return; // 如果head為空返回
        Node* current = head->next;  // 從第一個有效節點開始
        while (current != head) {  // current = head就結束 代表走完所有節點
            Node* temp = current;//temp 保存當前節點
            current = current->next;//current 指向下一個節點
            delete temp;  // 刪除當前節點
        }
        delete head;  // 刪除頭節點
        head = nullptr; // 重置head}
```

這段程式碼是多項式類別的建構函數和解構函數。在建構函數中，初始化了一個頭節點 head，並將 next 指標指向自己，形成一個環狀鏈結結構，代表一個空的多項式。在解構函數中，呼叫 clear() 函式，清除多項式中的所有節點，釋放記憶體。

```
public:
    // 構造函數 初始化頭節點 並指向自己
    Polynomial() {
        head = new Node();
        head->next = head; // 環形結構
    }
    //清除所有節點
    ~Polynomial() {
        clear();}
```

這段程式碼是多項式中的項目插入和合併。當插入一個新項目時，程式會檢查有沒有同樣次方的項目，如果有相同次方的項目，就把它們的係數相加。如果加完後的係數變成 0，就刪除那一項目。如果沒有相同次方的項目，就建立一個新節點並插入正確的位置。整個過程要確保多項式有按次方的大小排序，相同次方的項目也不會重複的出現。

```
// 多項式合併
void insertTerm(double coef, int exp) {
    if (coef == 0) return;  // 若係數為 0 返回
    Node* prev = head;  // 指向前一個節點
    Node* current = head->next;   //指向頭節點的下一個節點

    //  current 的次方大於插入的新項目的次方
    while (current != head && current->exp > exp) {
        prev = current;//prev 指向當前的節點
```

```
            current = current->next;//current 指向下一
個節點
        }

        if (current != head && current->exp == exp) {
            // 如果已經有相同次方的項就合併
            current->coef += coef;
            if (current->coef == 0) {   // 如果合併後係
數為 0
                prev->next = current->next;//指向下一項
                delete current;//刪除此項
            }
        }
        else {
            // 新節點
            Node* newNode = new Node(coef, exp,
```

```
current);
            prev->next = newNode;
        }
    }
```

這段程式就是在複製一個多項式。它會從頭開始把原來多項式的每一項抓過來，一個一個放進新的多項式裡，過程中新多項式會建立自己的頭節點跟環狀結構，然後在逐一複製係數和次方。然後新的多項式長得跟原來的多項式一模一樣，但它們是分開的不會被干擾，像是複製了一份備份一樣。

```
    // 複製多項式
    Polynomial(const Polynomial& other) {
        head = new Node();//新的頭節點
        head->next = head;//新頭節點的 next 指向自己
```

```
        Node* current = other.head->next; // current 指向原多項式 other 的第一個有效節點
        while (current != other.head) { // 走過原多項式的每個項
            insertTerm(current->coef, current->exp); // 將當前節點的 coef exp 插入新多項式
            current = current->next;//current 移動到原下一個節點繼續處理
        }
    }
```

這段程式就是幫多項式進行複製的功能。一開始它會檢查兩個多項式是不是同一個東西。如果是，直接返回就好了。如果不是，就把現在的多項式清空，然後重新建立一個新的結構，再把目標多項式的每一項一項地複製過來。做完後這個多項式就跟目標多項式一樣了，但它們還是兩個獨立的。

```
    //檢查多項是是否一致
    Polynomial& operator=(const Polynomial& other) {
        if (this == &other) return *this;  // 如果
*this 和 other 是同一個對象 返回當前對象
        clear();  // 清除當前多項式
        head = new Node();//新的頭節點
        head->next = head;  // 重建頭節點
        Node* current = other.head->next;  // current 指
向原多項式 other 的第一個有效節點
        while (current != other.head) {// 走過原多項式
的每個項
            insertTerm(current->coef, current->exp);
// 插入每一項
            current = current->next;//current 移動到原
下一個節點繼續處理
        }
        return *this;//返回當前對象 }
```

這段程式碼是輸入多項式。讀取一個多項式並儲存到 Polynomial 物件中。會讀取整行的輸入並轉換成字串流。然後在逐一處理每一項，先判斷符號是正還是負，然後讀取係數。如果符號是"-"係數就要加上負號。如果有字元"x"，再判斷有沒有次方的字元"^"，如果有，輸入次方。如果沒有次方，預設次方是 1。最後會把這些讀取到的係數和次方傳到 insertTerm 函數來插入到多項式中。做到讀取完所有項目，最後會回傳多項式。

```
    // 輸入多項式
    friend istream& operator>>(istream& is, Polynomial& poly) {
        string input;
        getline(is, input);  // 讀取整行輸入
        istringstream ss(input);  // 將輸入轉為字串流
        char sign = '+';  // 記錄項目前的符號
        while (ss) {
            double coef = 1.0, exp = 0;  // 係數為 1 次
```

方為 0

```
            if (ss.peek() == '+' || ss.peek() == '-') {
                sign = ss.get();  // 讀取符號
            }
            if (isdigit(ss.peek())) {
                ss >> coef;  // 讀取係數
            }
            if (sign == '-') coef = -coef;  // 如果符號
```

式'-'係數加'-'

```
            if (ss.peek() == 'x') {  //如果有變數 x
                ss.get();  // 跳過 'x'
                if (ss.peek() == '^') {
                    ss.get();  // 跳過 '^'
                    ss >> exp;  // 讀取次方
                }
```

```
                else {
                    exp = 1;  // 如果有'X'但沒次方 次方
設為1
                }
            }
            poly.insertTerm(coef, exp);   // 傳入
insertTerm 合併
        }
        return is;//回傳多項式}
```

這段程式碼的作用是輸出多項式。它會依序檢查多項式的每一項，根據係數和次方大小來決定輸出的先後順序。程式會檢查每一項的符號，如果係數>0 也不是第一項的話加上 " + "，如果係數<0 的話，加上負號" - "。然後係數都要用絕對值來顯示輸出數字，因為前面已經處理正負號的問題了，如果次方大於 0 輸出"x"，如果次方大於 1 輸出"^"再輸入次方，然後在移到下一個項目繼續上述的動作。如果多項式是空的，程式會輸出 0。最後回傳多項式。

```
    // 輸出多項式
    friend ostream& operator<<(ostream& os, const
Polynomial& poly) {
        Node* current = poly.head->next;  // 從第一個有
效節點開始
        bool first = true;  // 標誌為第一項
        while (current != poly.head) { // 走過所有項
            if (current->coef > 0 && !first) os << " +
";  // 如果係數大於 0 且不是第一項加上 '+'
            if (current->coef < 0) os << (first ? "-" :
" - ");  // 若係數小於 0 就看有沒有'-'
            os << abs(current->coef); // 輸出係數加絕對
值
            if (current->exp > 0) os << "x";   // 如果
次方大於 0 輸出 x
            if (current->exp > 1) os << "^" << current-
>exp;  // 如果次方大於 1 輸出'^'再輸入次方
```

```
            current = current->next;  // 移動到下一項
            first = false;  // 設置 first 為 false
        }
        if (first) os << "0";  /// 若多項式為空輸出 0
        return os;//回傳多項式
    }
```

多項式的加法運算。要將兩個多項式相加。程式會建立一個空的多項式 result 來存儲加法的結果，然後分別用 a 和 b 指向兩個多項式的開頭。然後在比較兩個多項式，如果 a 中的項次方大於 b 中的項次方，就直接將 a 中的係數和次方加到 result 中。 如果 b 中的項次方大於 a 中的項次方，也直接將 b 中的係數和次方加到 result 中。那如果兩個項次方相同時，會把係數相加然後結果加到 result 中，然後在跳到下一項繼續執行。最後程式會返回加法後的多項式。

```
    // 多項式加法
    Polynomial operator+(const Polynomial& other) const
{
        Polynomial result;  // 儲存結果
        Node* a = head->next;
        Node* b = other.head->next;
        while (a != head || b != other.head) {  // 當沒
走完時
            if (a != head && (b == other.head || a->exp
> b->exp)) {//如果當前 a 中的項次方大於 b 中的項次方
                result.insertTerm(a->coef, a->exp);  //
直接將 a 中的係數和次方加到 result 中
                a = a->next;// a 移到下一項
            }
            else if (b != other.head && (a == head ||
a->exp < b->exp)) {//如果 b 中的項次方大於 a 中的項次方
                result.insertTerm(b->coef, b->exp); //
```

```
直接將 b 中的係數和次方加到 result 中
                b = b->next;// b 移到下一項
            }
            else {
                result.insertTerm(a->coef + b->coef, a->exp);  // 合併相同次方的項
                a = a->next;// a 移到下一項
                b = b->next;// b 移到下一項
            }
        }
        return result;//回傳結果
    }
```

多項式的減法運算。要將兩個多項式相減。首先程式會建立一個空的多項式 result 來存儲減法的結果，然後分別用 a 和 b 指向兩個多項式的開頭。然後在比較兩個多項式，如果 a 中的項次方大於 b 中的項次方，就直接將 a 中的係數和次方加到 result 中。 如果b中的項次方大於 a 中的項次方，那b的係數要多負號，因為是在減去 b 中的項。那如果兩個項次方相同時，會把係數相減然後結果加到 result 中，然後在跳到下一項繼續執行。最後程式會返回減法後的多項式。

```
// 多項式減法
Polynomial operator-(const Polynomial& other) const
{
    Polynomial result;// 儲存結果
    Node* a = head->next;
    Node* b = other.head->next;
    while (a != head || b != other.head) {
        if (a != head && (b == other.head || a->exp
```

```
> b->exp)) {//如果當前 a 中的項次方大於 b 中的項次方
                result.insertTerm(a->coef, a->exp);//直接將 a 中的係數和次方加到 result 中
                a = a->next;// a 移到下一項
            }
            else if (b != other.head && (a == head || a->exp < b->exp)) {//如果 b 中的項次方大於 a 中的項次方
                result.insertTerm(-b->coef, b->exp); // b 中的係數取負和次方加到 result 中 係數需要取負因為是在減去 b 中的項
                b = b->next;// b 移到下一項
            }
            else {//如果 a 和 b 中的次方相同 則 a 和 b 中相同次方的項進行相減 結果加到 result 中
                result.insertTerm(a->coef - b->coef, a->exp);
                a = a->next;// a 移到下一項
```

```
                b = b->next;// b 移到下一項
            }
        }
        return result;//回傳結果
    }
```

多項式的乘法運算。是把兩個多項式的係數相乘，再把它們的指數加起來，然後結果加到新的多項式中。先建立一個空的多項式 result 來儲存結果，然後會走過多項式 a 中的每一項，對每一項再和多項式 b 中的每一項做運算。運算是將兩個多項式的係數相乘，次方相加，再把結果存入 result 中。最後返回運算結果。

```
    // 多項式乘法
    Polynomial operator*(const Polynomial& other) const
{
        Polynomial result;// 儲存結果
```

```
        Node* a = head->next;
        while (a != head) {  // 遍歷 a 中的每一項
            Node* b = other.head->next;
            while (b != other.head) {  // 遍歷 b 中的每一項
                result.insertTerm(a->coef * b->coef, a->exp + b->exp);  // 係數相乘 指數相加 結果加到 result 中
                b = b->next;// b 移到下一項
            }
            a = a->next;// a 移到下一項
        }
        return result;//回傳結果
    }
```

這段程式碼用來計算多項式在指定 x 值運算後的結果。一開始宣告 result 用來累加每一項的計算結果，然後程式會走過多項式中的每一項，每一項都會用指定的 x 值來做運算，然後再把這些結果累加到 result 中，做完一項會跳到下一個項目繼續運算，最後返回結果。

```
    // 計算多項式的值 帶入輸入的 x 值
    double evaluate(int x) const {
        double result = 0.0f;// 儲存結果
        Node* current = head->next;
        while (current != head) {  // 走過每一項
            result += current->coef * pow(x, current->exp); // 根據 x 的值計算每項結果並累加
            current = current->next;//移動到下一項繼續計算
        }
        return result;//回傳結果 }};
```

這段程式碼的主要目的是進行多項式的基本運算加法、減法、乘法和帶入 x，並計算每個運算所需的時間，才可以知道效能量測是多少。程式首先要輸入兩個多項式 a 和 b，然後分別運算加法、減法和乘法運算和帶入 x。每個運算程式會記錄開始和結束的時間，算出每次運算的執行時間，這樣就可以知道每個運算所花的時間。然後程式要在輸入一個整數 x，再把 x 的值帶入多項式 a 和 b 中，再算出值。就可以看到多項式對 x 值的計算結果，也能看到計算這些值所需的時間。

```
int main() {
    clock_t start, finish; // 用於計時的變數
    Polynomial a, b;  // 宣告兩個多項式

    cout << "a=";
    cin >> a;  // 輸入多項式 a

    cout << "b=";
```

```
    cin >> b;  // 輸入多項式 b

    cout << "----------------------------------------
----------------------------------------" <<
endl;

    // 加法操作並計算時間
    start = clock();
    Polynomial sum = a + b;
    finish = clock();
    cout << "a + b = " << sum << endl;
    cout << "sum() 需時: " << (double)(finish - start)
/ CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    // 減法操作並計算時間
    start = clock();
```

```
    Polynomial diff = a - b;
    finish = clock();
    cout << "a - b = " << diff << endl;
    cout << "diff() 需時: " << (double)(finish - start)
/ CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    // 乘法操作並計算時間
    start = clock();
    Polynomial prod = a * b;
    finish = clock();
    cout << "a * b = " << prod << endl;
    cout << "prod() 需時: " << (double)(finish - start)
/ CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    cout << "----------------------------------------
----------------------------------------" <<
```

```
endl;

    int x;
    cout << "輸入 x 的值來計算多項式 a(x)、b(x)：";
    cin >> x;

    // 計算 a(x)並計算時間
    start = clock();
    cout << "a(" << x << ") = " << a.evaluate(x) <<
endl;
    finish = clock();
    cout << "a(x) 需時: " << (double)(finish - start) /
CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    // 計算 b(x)並計算時間
    start = clock();
```

```
    cout << "b(" << x << ") = " << b.evaluate(x) <<
endl;

    finish = clock();

    cout << "b(x) 需時: " << (double)(finish - start) /
CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;



    return 0;

}
```

2. Algorithm Design & Programming

```cpp
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <sstream>
#include <string>
#include <ctime>

using namespace std;

// 定義節點類別 用於鏈結串列的每一項
class Node {
public:
    double coef;  // 系數
    int exp;      // 指數
    Node* next;   // 指向下一個節點的指針

    // 節點構造函數 係數為0 指數為0 指向下一個節點為nullptr
    Node(double c = 0, int e = 0, Node* n = nullptr) : coef(c), exp(e), next(n) {}
};

// 定義多項式類別
class Polynomial {
private:
    Node* head; // 指向頭節點的指針 多項式的起始位置

    // 清除多項式中的所有項目
    void clear() {
        if (!head) return; // 如果head為空返回
```

```
    // 清除多項式中的所有項目
    void clear() {
        if (!head) return; // 如果head為空返回
        Node* current = head->next;  // 從第一個有效節點開始
        while (current != head) {  // current = head就結束 代表走完所有節點
            Node* temp = current;//temp 保存當前節點
            current = current->next;//current 指向下一個節點
            delete temp;  // 刪除當前節點
        }
        delete head;  // 刪除頭節點
        head = nullptr; // 重置head
    }

public:
    // 構造函數 初始化頭節點 並指向自己
    Polynomial() {
        head = new Node();
        head->next = head; // 環形結構
    }

    //清除所有節點
    ~Polynomial() {
        clear();
    }

    // 多項式合併
```

```
    // 多項式合併
    void insertTerm(double coef, int exp) {
        if (coef == 0) return;  // 若係數為0返回
        Node* prev = head;  // 指向前一個節點
        Node* current = head->next;   //指向頭節點的下一個節點

        //  current 的次方大於插入的新項目的次方
        while (current != head && current->exp > exp) {
            prev = current;//prev 指向當前的節點
            current = current->next;//current 指向下一個節點
        }

        if (current != head && current->exp == exp) {
            // 如果次方相同就合併
            current->coef += coef;  //係數相加
            if (current->coef == 0) {   // 如果合併後係數為0
                prev->next = current->next;//指向下一項
                delete current;//刪除此項
            }
        }
        else {
            // 新節點
            Node* newNode = new Node(coef, exp, current);
            prev->next = newNode;
        }
```

```
            prev->next = newNode;
        }
    }

    // 複製多項式
    Polynomial(const Polynomial& other) {
        head = new Node();//新的頭節點
        head->next = head;//新頭節點的 next 指向自己
        Node* current = other.head->next; // current指向原多項式 other 的第一個有效節點
        while (current != other.head) { // 走過原多項式的每個項
            insertTerm(current->coef, current->exp);    // 將當前節點的 coef exp插入新多項式
            current = current->next;//current 移動到原下一個節點繼續處理
        }
    }

    //檢查多項是是否一致
    Polynomial& operator=(const Polynomial& other) {
        if (this == &other) return *this;  // 如果 *this 和 other 是同一個對象 返回當前對象
        clear();  // 清除當前多項式
        head = new Node();//新的頭節點
        head->next = head;  // 重建頭節點
        Node* current = other.head->next;  // current指向原多項式 other 的第一個有效節點
        while (current != other.head) {// 走過原多項式的每個項
            insertTerm(current->coef, current->exp);  // 插入每一項
            current = current->next;//current 移動到原下一個節點繼續處理
        }
        return *this;//返回當前對象
```

```
98          }
99          return *this;//返回當前對象
100     }
101
102
103
104     // 輸入多項式
105     friend istream& operator>>(istream& is, Polynomial& poly) {
106         string input;
107         getline(is, input);  // 讀取整行輸入
108         istringstream ss(input);  // 將輸入轉為字串流
109         char sign = '+';  // 記錄項目前的符號
110         while (ss) {
111             double coef = 1.0, exp = 0;  // 係數為1 次方為0
112             if (ss.peek() == '+' || ss.peek() == '-') {
113                 sign = ss.get();  // 讀取符號
114             }
115             if (isdigit(ss.peek())) {
116                 ss >> coef;  // 讀取係數
117             }
118             if (sign == '-') coef = -coef;  // 如果符號是'-'係數加'-'
119
120             if (ss.peek() == 'x') {  //如果有字元'x'
121                 ss.get();  // 跳過 'x'
122                 if (ss.peek() == '^') {//如果有字元'^'
123                     ss.get();  // 跳過 '^'
```

```
            ss.get();  // 跳過 'X'
            if (ss.peek() == '^') {//如果有字元'^'
                ss.get();  // 跳過 '^'
                ss >> exp;  // 讀取次方
            }
            else {
                exp = 1;  // 如果有'X'但沒次方 次方設為1
            }
        }
        poly.insertTerm(coef, exp);   // 傳入 insertTerm合併
    }
    return is;//回傳多項式
}

// 輸出多項式
friend ostream& operator<<(ostream& os, const Polynomial& poly) {
    Node* current = poly.head->next;  // 從第一個有效節點開始
    bool first = true;  // 標誌為第一項
    while (current != poly.head) { // 走過所有項
        if (current->coef > 0 && !first) os << " + ";  // 如果係數大於0且不是第一項加上 '+'
        if (current->coef < 0) os << (first ? "-" : " - ");  // 如果係數小於0 就看有沒有'-' 如果true輸出'-' 不是的話輸出' - '
        os << abs(current->coef); // 輸出係數加絕對值
        if (current->exp > 0) os << "x";   // 如果次方大於0輸出 'x'
        if (current->exp > 1) os << "^" << current->exp;  // 如果次方大於1 輸出'^'再輸入次方
        current = current->next;  // 移動到下一項
        first = false;  // 設置first為false
    }
```

```
        current = current->next;  // 移動到下一項
        first = false;  // 設置first為false
    }
    if (first) os << "0";  /// 如果多項式為空輸出 0
    return os;//回傳多項式
}

// 多項式加法
Polynomial operator+(const Polynomial& other) const {
    Polynomial result;  // 儲存結果
    Node* a = head->next;
    Node* b = other.head->next;
    while (a != head || b != other.head) {
        if (a != head && (b == other.head || a->exp > b->exp)) {//如果當前 a 中的項次方大於 b 中的項次方
            result.insertTerm(a->coef, a->exp);  //直接將 a 中的係數和次方加到 result 中
            a = a->next;// a 移到下一項
        }
        else if (b != other.head && (a == head || a->exp < b->exp)) {//如果b中的項次方大於 a 中的項次方
            result.insertTerm(b->coef, b->exp); //直接將 b 中的係數和次方加到 result 中
            b = b->next;// b 移到下一項
        }
        else {
            result.insertTerm(a->coef + b->coef, a->exp);  // 合併相同次方的項
            a = a->next;// a 移到下一項
            b = b->next;// b 移到下一項
        }
    }
```

```
            b = b->next;// b 移到下一項
        }
    }
    return result;//回傳結果
}

// 多項式減法
Polynomial operator-(const Polynomial& other) const {
    Polynomial result;// 儲存結果
    Node* a = head->next;
    Node* b = other.head->next;
    while (a != head || b != other.head) {
        if (a != head && (b == other.head || a->exp > b->exp)) {//如果當前 a 中的項次方大於 b 中的項次方
            result.insertTerm(a->coef, a->exp);//直接將 a 中的係數和次方加到 result 中
            a = a->next;// a 移到下一項
        }
        else if (b != other.head && (a == head || a->exp < b->exp)) {//如果b中的項次方大於 a 中的項次方
            result.insertTerm(-b->coef, b->exp); //  b 中的係數取負和次方加到 result 中  係數需要取負因為是在減去 b 中的項
            b = b->next;// b 移到下一項
        }
        else {//如果 a 和 b 中的次方相同  a和b中相同次方的項要係數相減 結果加到 result 中
            result.insertTerm(a->coef - b->coef, a->exp);
            a = a->next;// a 移到下一項
            b = b->next;// b 移到下一項
        }
    }
```

```
        }
    }
    return result;//回傳結果
}

// 多項式乘法
Polynomial operator*(const Polynomial& other) const {
    Polynomial result;// 儲存結果
    Node* a = head->next;
    while (a != head) {  // 走過a的每一項
        Node* b = other.head->next;
        while (b != other.head) {  // 走過b的每一項
            result.insertTerm(a->coef * b->coef, a->exp + b->exp);  // 係數相乘 指數相加 結果加到 result 中
            b = b->next;// b 移到下一項
        }
        a = a->next;// a 移到下一項
    }
    return result;//回傳結果
}

// 計算多項式的值 帶入輸入的x值
double evaluate(int x) const {
    double result = 0.0f;// 儲存結果
    Node* current = head->next;
    while (current != head) {  // 走過每一項
        result += current->coef * pow(x, current->exp); // 根據x的值計算每項結果再累加
        current = current->next;//移動到下一項繼續計算
    }
    return result;//回傳結果
}
};

int main() {
    clock_t start, finish; // 用於計時的變數
    Polynomial a, b;  // 宣告兩個多項式

    cout << "a=";
    cin >> a;  // 輸入多項式a

    cout << "b=";
    cin >> b;  // 輸入多項式b

    cout << "----------------------------------------------------------------------------------------" << endl;

    // 加法操作並計算時間
    start = clock();
    Polynomial sum = a + b;
    finish = clock();
    cout << "a + b = " << sum << endl;
    cout << "sum() 需時: " << (double)(finish - start) / CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;
```

```
    cout << "----------------------------------------------------------------------------------------" << endl;

    // 加法操作並計算時間
    start = clock();
    Polynomial sum = a + b;
    finish = clock();
    cout << "a + b = " << sum << endl;
    cout << "sum() 需時: " << (double)(finish - start) / CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    // 減法操作並計算時間
    start = clock();
    Polynomial diff = a - b;
    finish = clock();
    cout << "a - b = " << diff << endl;
    cout << "diff() 需時: " << (double)(finish - start) / CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    // 乘法操作並計算時間
    start = clock();
    Polynomial prod = a * b;
    finish = clock();
    cout << "a * b = " << prod << endl;
    cout << "prod() 需時: " << (double)(finish - start) / CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    cout << "----------------------------------------------------------------------------------------" << endl;

    int x;
```

```
    cout << "prod() 需時: " << (double)(finish - start) / CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    cout << "-------------------------------------------------------------------------------" << endl;

    int x;
    cout << "輸入 x 的值來計算多項式 a(x)、b(x)：";
    cin >> x;

    // 計算a(x)並計算時間
    start = clock();
    cout << "a(" << x << ") = " << a.evaluate(x) << endl;
    finish = clock();
    cout << "a(x) 需時: " << (double)(finish - start) / CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    // 計算b(x)並計算時間
    start = clock();
    cout << "b(" << x << ") = " << b.evaluate(x) << endl;
    finish = clock();
    cout << "b(x) 需時: " << (double)(finish - start) / CLOCKS_PER_SEC << " s" << endl;

    return 0;
}
/*
5x^9-3x^8+2x^7+x^6-4x^5+6x^4-8x^3+7x^2-9x+10
-2x^10+4x^9-6x^8+8x^7-10x^6+12x^5-14x^4+16x^3-18x^2+20x-22
2
*/
```

3. 效能分析 Time complexity & Space complexity

時間複雜度：

- 插入項（insertTerm）：O(n) — 需要遍歷鏈表找到插入位置。
- 加法（operator +）：O(n + m) — 同時遍歷兩個多項式的項，進行合併。
- 減法（operator -）：O(n + m) — 同加法，遍歷兩個多項式進行項的減法。
- 乘法（operator *）：O(n * m) — 每一項與另一多項式的每一項相乘。
- 計算多項式值（evaluate）：O(n) — 遍歷所有項計算結果。

空間複雜度：

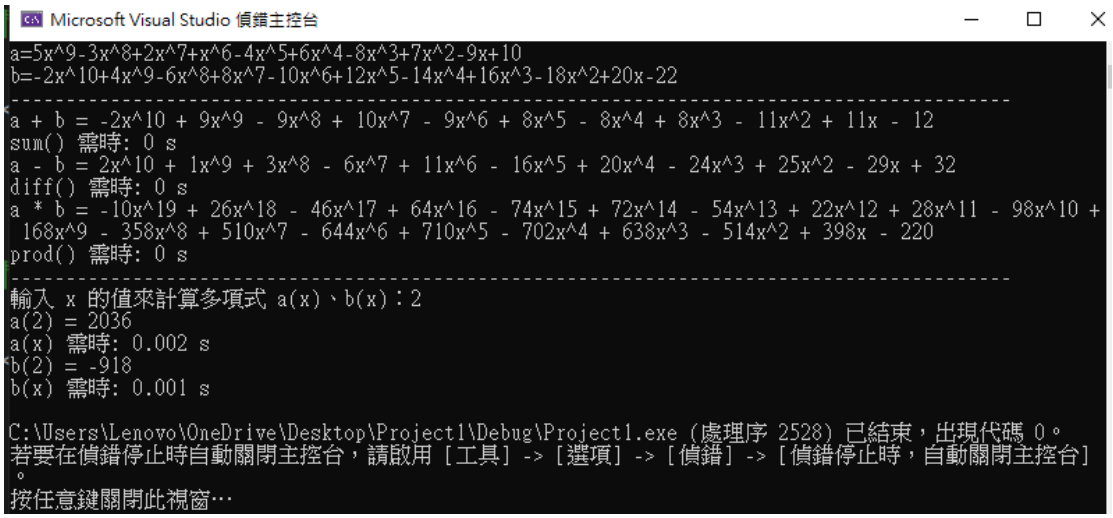
- 節點存儲: O(n) — 每個多項式的項都需一個節點。
- 操作後的結果多項式: O(n + m)（加法、減法），O(n * m)（乘法）— 依據結果的項數。

4. 測試與驗證

Input:

- 5x^9-3x^8+2x^7+x^6-4x^5+6x^4-8x^3+7x^2-9x+10
- -2x^10+4x^9-6x^8+8x^7-10x^6+12x^5-14x^4+16x^3-18x^2+20x-22
- 2

Output:



5. 效能量測

相加的過程用了 0 秒

相減的過程用了 0 秒

相乘的過程用了 0 秒

把數值帶入 a 多項式的過程用了 0.002 秒

把數值帶入 b 多項式的過程用了 0.001 秒

6. 心得討論

這次作業讓我學到了怎麼用鏈結串列來寫程式。首先是用 Node 類別代表多項式的每一項，然後再用 Polynomial 類別把整個多項式包起來。那在這程式我是用頭節點當作開始也可以當作結束。透過 C++的運算子多載，可以讓多項式的加減乘運算變得像數學公式一樣簡單。還有程式裡也處理了記憶體的問題，比如用解構子和 clear()來清理釋放記憶體。最讓我困惑的部分是拷貝建構子和拷貝指派運算子，因為我之前沒寫過這種程式，結果去 chatgpt 查詢後發現它的難點是要處理深層複製和自我指派的問題，不能讓兩個物件指向同一塊記憶體，比如說:如果直接複製指標，兩個物件就會指向同一塊記憶體，這樣的話如果有一個物件被刪除，另一個物件就會釋放或著也被刪除掉，這樣就會出現問題。而且如果兩個物件都去刪除那塊記憶體，就會造成錯誤。所以為了解決這個情況，需要做深層複製，也就是複製每個節點，這樣每個物件就有自己的記憶體，就不會互相干擾到。程式就是 if (this == &other)來檢查是否自我指派，同時要確保每次拷貝都新建節點，才成功解決了這個問題。這次作業讓我學習到鏈結串列，還有上述說的困難點，也加深了對物件導向的理解，對我來說是個蠻有挑戰性，也有收穫的經驗。