Формальна верифікація системи “Платіжний термінал”

Байбула Кирило Аленович

4 травня 2025 р.

Імплементація

Імплементація системи “Платіжний термінал” виконана на мові програмування Dafny, яка підтримує формальну верифікацію коду та редактор коду VS Code із відповідним розширенням “Dafny”. Система складається з трьох основних класів та декількох допоміжних предикатів для валідації даних.

Предикати валідації

Предикати валідації необхідні в предумовах для валілації, у нашому випадку, пін кода картки та її номера. Пін код має бути числом що складається з чотирьох чисел, а номер картки з десяти в десятичній репрезентації.

```
predicate ValidPinCode(pin: nat)
{
  pin < 10000
}

predicate ValidCardId(id: nat)
{
  id > 0 && id < 100000000000 // 10-digit card ID
}
```

Клас Card

Зберігає вже провалідовані данні про картку, такі як:

- її номер
- пін-код
- баланс у центах
- чи є вона заблокованою

```
class Card {
  var id: nat
  var pinCode: nat
  var isBlocked: bool
  var balance: nat

  constructor(cardId: nat, pin: nat, blocked: bool,
   initialBalance: nat)
    requires ValidCardId(cardId)
    requires ValidPinCode(pin)
    ensures pinCode == pin
    ensures isBlocked == blocked
    ensures balance == initialBalance
    ensures id == cardId
  {
    id := cardId;
    pinCode := pin;
    isBlocked := blocked;
    balance := initialBalance;
  }
}
```

Клас TransactionData

Данний клас зберігає інформацію про транзакцію: кількість в центах та скільки на картці залишилося балансу.

```
class TransactionData {
  var amount: nat  // Amount in cents
  var remainingBalance: nat  // Remaining balance in
   cents

  constructor(transAmount: nat, remBalance: nat)
    ensures amount == transAmount
    ensures remainingBalance == remBalance
  {
    amount := transAmount;
    remainingBalance := remBalance;
  }
}
```

Клас Terminal

```
class Terminal {
  var isConnectedToNetwork: bool
  var paper: nat // Length of left paper
  var authorizedUser: nat // Currently authorized user ID
  var lastTransactionData: TransactionData?

  constructor(connected: bool, paperLength: nat)
    ensures isConnectedToNetwork == connected
    ensures paper == paperLength
    ensures lastTransactionData == null
    ensures authorizedUser == 0
  {
    isConnectedToNetwork := connected;
    paper := paperLength;
    lastTransactionData := null;
    authorizedUser := 0;
  }
```

Клас Terminal: Функція Авторизації

```
method Authorize(card: Card, enteredPin: nat) returns (success: bool)
  requires ValidPinCode(enteredPin)
  modifies this
  ensures !isConnectedToNetwork ==> !success
  ensures enteredPin != card.pinCode ==> !success
  ensures card.isBlocked ==> !success
  ensures isConnectedToNetwork && enteredPin == card.pinCode && !card.isBlocked ==> success
  ensures success ==> authorizedUser == card.id
{
  success := false;  // Initialize with false by default

  if (!isConnectedToNetwork) {
    return;
  }

  if (enteredPin != card.pinCode) {
    return;
  }

  if (card.isBlocked) {
    return;
  }

  // All conditions are met
  success := true;
  authorizedUser := card.id;
}
```

Клас Terminal: Функція Проведення транзакції

```
method ProcessTransaction(card: Card, amount: nat) returns (success: bool)
  modifies this, card
  ensures !isConnectedToNetwork ==> !success
  ensures authorizedUser != card.id ==> !success
  ensures old(card.balance) < amount ==> !success
```

```
    ensures isConnectedToNetwork && authorizedUser ==
   card.id && card.balance >= amount && amount >= 0 ==>
   success
    ensures success ==> card.balance ==
   old(card.balance) - amount
    ensures success ==> lastTransactionData != null &&
   lastTransactionData.amount == amount &&
   lastTransactionData.remainingBalance == card.balance
    ensures !success ==> card.balance ==
   old(card.balance)
  {
    success := false;  // Initialize with false by
   default

    if (!isConnectedToNetwork) {
      return;
    }

    if (authorizedUser != card.id) {
      return;
    }

    if (card.balance < amount) {
      return;
    }

    // All conditions are met
    card.balance := card.balance - amount;
    lastTransactionData := new TransactionData(amount,
   card.balance);
    success := true;
  }
```

Клас Terminal: Функція Проведення транзакції

```
  method PrintReceipt() returns (success: bool)
    modifies this
    ensures old(paper) == 0 ==> !success
    ensures old(lastTransactionData) == null ==> !success
```

```
    ensures paper > 0 && lastTransactionData != null ==> success
    ensures success ==> paper == old(paper) - 1
    ensures success ==> lastTransactionData == null
    ensures success ==> authorizedUser == 0
  {
    success := false;  // Initialize with false by default

    if (paper == 0) {
      return;
    }

    if (lastTransactionData == null) {
      return;
    }

    // All conditions are met
    paper := paper - 1; // Decrease paper length
    lastTransactionData := null; // Clear last transaction data
    authorizedUser := 0; // Reset authorized user
    success := true;
  }
```

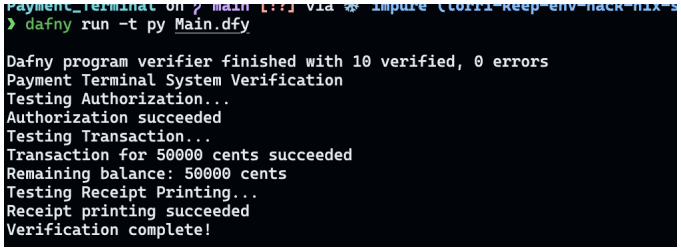
Головна програма

Для перевікри функціоналу було описану головний метод, що використовує данний фукнціонал. У ньому було створено картку із номером 100,000,000, пінкодом 1234, початковим балансом 100000 центів та статусом “не заблокована”. Термін що під’єднаний до мережі та має можливість роздрукувати п’ять чеків. Далі проходить авторизація, проводиться транзакція в половину суми та друкується чек.

```
method Main()
{
  print "Payment Terminal System Verification\n";

  var card := new Card(100_000_000, 1234, false, 100000);

```

```
  var terminal := new Terminal(true, 5);

  print "Testing Authorization...\n";
  var authSuccess := terminal.Authorize(card, 1234);
  print "Authorization ", if authSuccess then
   "succeeded" else "failed", "\n";

  print "Testing Transaction...\n";
  var transAmount: nat := 50000; // $500.00
  var transSuccess := terminal.ProcessTransaction(card,
   transAmount);

  print "Transaction for ", transAmount, " cents ",
        if transSuccess then "succeeded" else "failed",
   "\n";

  if (transSuccess) {
    print "Remaining balance: ", card.balance, "
   cents\n";
  }

  print "Testing Receipt Printing...\n";
  var receiptSuccess := terminal.PrintReceipt();
  print "Receipt printing ", if receiptSuccess then
   "succeeded" else "failed", "\n";

  print "Verification complete!\n";
}
```

Запустивши команду `dafny run -t py Main.dfy` можна побачити, що вся програма проверефікована і видає очікуваний результат:



Висновки

Розроблена система демонструє використання формальних методів для забезпечення коректності роботи платіжного терміналу мовою формальної верифікації програм — Dafny.