POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

KIERUNEK: INFORMATYKA
SPECJALNOŚĆ: INŻYNIERIA SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH

PRACA INŻYNIERSKA

Zarządzanie zadaniami w systemie obrazowania wielospektralnego

Task management for hyperspectral imaging system

AUTOR:
Aleksander Cieślak

PROWADZĄCY PRACĘ:
dr inż. Tadeusz Tomczak

OCENA PRACY:

WROCŁAW, 4 grudnia 2016

Spis treści

Spis rysunków

Spis listingów

Rozdział 1

Cel projektu

Celem niniejszej pracy jest projekt i implementacja modułu zarządzania zadaniami dla systemu Gerbil (`http://gerbilvis.org/`). Jest to system do analizy i wizualizacji danych wielospektralnych. Gerbil posiada zestaw wielu algorytmów przetwarzania obrazów oraz uczenia maszynowego, które przekładają się na szerokie spektrum funkcjonalności. Jednak jego słabym punktem jest warstwa zarządzania danymi oraz potok przetwarzania danych. To z kolei powoduje niestabilność całej aplikacji. W ramach pracy dyplomowej został zaproponowany system, który rozwiązuje wyżej wspomniane problemy. System ten pozwala na bezpieczny dostęp do danych w całej aplikacji oraz gwarantuje zachowanie właściwego potoku przetwarzania danych. Kod źródłowy systemu można znaleźć pod adresem `https://github.com/ajaskier/gerbil/tree/distalpha`.

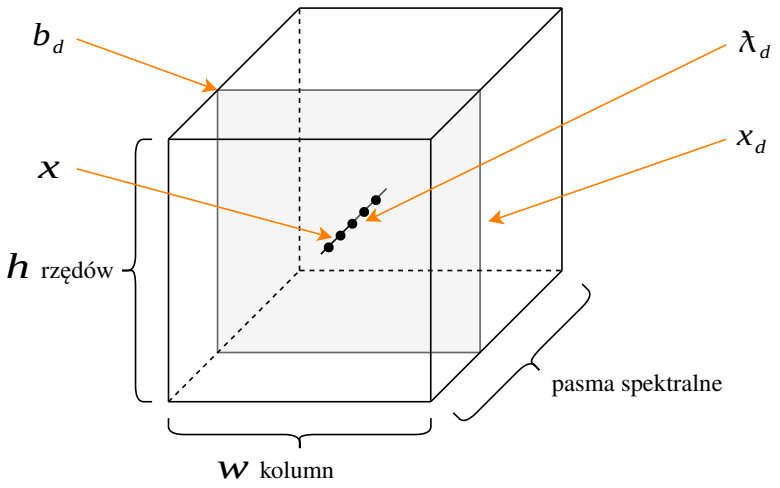
Rozdział 2

Obrazowanie wielospektralne

Obrazowanie wielospektralne jest techniką rejestracji obrazu za pomocą fal elektromagnetycznych o wybranej częstotliwości spośród widma spektroskopowego. Podczas gdy ludzkie oko widzi głównie w trzech zakresach spektralnych (czerwonym, niebieskim oraz żółtym), obraz wielospektralny jest rejestrowany w znacznie większej liczbie zakresów (przykładowo 31).

2.1. Format danych

Dane wielospektralne są często nazywane kostką wielospektralną.



Rys. 2.1: Schemat kostki wielospektralnego

Na rysunku 2.1 zilustrowano układ danych w kostce wielospektralnej. Kostka taka składa się z n_x (h rzędów na w kolumn) pikseli x. Każdy piksel jest wektorem współczynników spektralnych o długości n_D, gdzie n_D jest liczbą obrazów spektralnych, na które składa się dana wielospektralna. Każdy współczynnik x_d jest wartością reakcji sensorycznej dla odpowiadającego pasma spektralnego b_d skoncentrowanego wokół fali λ_d. W skrócie obraz wielospektralny jest zbiorem obrazów rejestrowanych przy użyciu fal elektromagnetycznych o zadanych długościach.

2.1.1. Konsekwencje formatu danych

Ze względu na swoją charakterystykę serie obrazów wielospektralnych mogą bezproblemowo osiągać rozmiary setek megabajtów, lub nawet gigabajtów. Zazwyczaj jednak obrazy są rejestrowane aparatem o matrycy ok. 2 Mpix. Większość danych pochodnych, które są efektem analizy tego obrazu posiadają podobne rozmiary. Informacja ta jest kluczowa podczas projektowania mechanizmu zarządzania danymi w takim systemie. Biorąc pod uwagę rozmiar danych mechanizm taki powinien:

- unikać tworzenia zbędnych kopi danych,
- dokonywać obliczeń danych wyłącznie na żądanie,
- zwalniać z pamięci dane, które nie są już wykorzystywane przez aplikację.

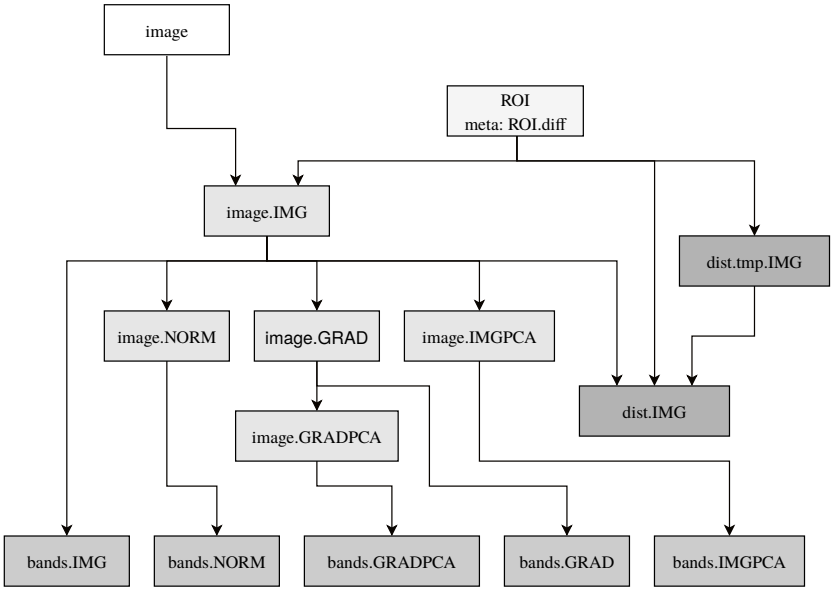
2.2. Dane w systemie Gerbil

Oryginalny obraz wielospektralny jest traktowany jako dana wejściowa w systemie. Na jego podstawie powstają dane pochodne. Są to głównie kolejne obrazy oraz histogramy wielospektralne. Do stworzenia prototypu mechanizmu zarządzania danymi oraz procesem przetworzenia użyte zostały poniższe dane:

- **image** – oryginalny obraz wielospektralny. Dana ta jest obliczana podczas inicjalizacji aplikacji. Użytkownik może wejść w interakcję z systemem dopiero gdy image zostanie przetworzone.
- **ROI (Region of Interest)** – wyselekcjonowany podzbiór danych, w tym przypadku wybrane prostokątne zaznaczenie obrazu. Jest przechowywany jako współrzędne lewego górnego wierzchołka zaznaczenia, jego wysokość oraz szerokość,
- **image.IMG** – fragment obrazu oryginalnego zdeterminowany przez ROI,
- **image.NORM** – image.IMG po normalizacji wektorów składających się z pikseli o jednakowych współrzędnych na przestrzeni pasm spektralnych,
- **image.GRAD** – gradient obrazu image.IMG,
- **image.PCA** – image.IMG po zastosowaniu metody PCA (ang. Principal Component Analysis – Analiza Głównych Składowych)[1],
- **image.GRADPCA** – image.GRAD po zastosowaniu metody PCA,
- **bands.*.N** – pojedynczy N-ty obraz spektralny danej reprezentacji image.* (przykładowo bands.NORM.6),
- **dist.IMG** - histogram wielospektralny obrazu image.IMG,
- **dist.tmp.IMG** - dana pomocnicza używana do uzyskania danej dist.IMG.

Z racji, że jedne dane produkują inne, łatwo jest zdefiniować hierarchię danych w tym systemie.

Na rysunku 2.2 przedstawiono diagram zależności danych. Dane jednego koloru są do siebie semantycznie zbliżone. Przykładowo, image.NORM, image.GRAD, image.GRADPCA itp. są reprezentacjami obrazu oryginalnego. Dane posiadają również swoje metadane. Przykładowo metadaną ROI jest ROI.diff, które określa różnicę pomiędzy aktualnym a poprzednim ROI.



Rys. 2.2: Graf zależności danych w systemie Gerbil

2.2.1. Wpływ hierarchii danych na proces wykonania

Analizując rysunek 2.2 można dojść do wniosku, że proces przetworzenia danych jest dyktowany poprzez ich hierarchię. Przykładowo do obliczenia image.GRADPCA wymagane jest aby dane image, ROI, image.IMG oraz image.GRAD były już przetworzone. Dodatkowo można określić porządek, w którym te dane powinny zostać obliczone:

1. image (podczas inicjalizacji systemu),
2. ROI,
3. image.IMG,
4. image.GRAD,
5. image.GRADPCA.

Scenariusz ten zakłada obliczenie każdej danej w hierarchii, co jest przypadkiem skrajnym. Często zdarza się, że pewna część danych jest aktualna. Wówczas przetwarzanie powinno rozpocząć się od pierwszej nieaktualnej danej znajdującej się najwyżej w hierarchii.

Dodatkowo należy rozpatrzeć scenariusz równoległego wykonywania zadań. Zakładając, że aplikacja wyświetla jednocześnie dane image.NORM oraz image.GRAD, natomiast image.IMG zostało odświeżone, można dojść do wniosku, że system powinien w następnym kroku dokonać obliczeń obu danych (image.NORM i image.GRAD). Obliczenia te można wykonać szeregowo bądź równolegle, wobec tego można zdefiniować opcjonalne wymaganie dla systemu zarządzania zadaniami jako możliwość równoległego przetwarzania zadań.

Rozdział 3

Technologie wykorzystane w systemie Gerbil

Projekt jest rozwijany pod systemem operacyjnym Linux, dystrybucją Ubuntu 16.04.

3.1. C++

System Gerbil jest rozwijany w języku C++. Jest to język programowania ogólnego przeznaczenia, ze szczególnym zastosowaniem w tworzeniu systemów. C++ to język:

- wieloparadygmatowy – pozwala na programowanie proceduralne, obiektowe, funkcyjne oraz ogólne,
- statycznie typowany – zgodność typów jest sprawdzana w trakcie kompilacji,
- pozwalający na bezpośrednie zarządzanie pamięcią,
- tworzony według zasady zerowego narzutu - elementy tego języka oraz proste abstrakcje muszą być optymalne (nie marnować bajtów pamięci ani cyklów procesora),
- umożliwiający tworzenie lekkich i wydajnych abstrakcji [2][3].

Język o takiej charakterystyce jest dobrym wyborem do implementacji systemu analizy i wizualizacji skomplikowanych danych.

W projekcie używany jest standard ISO/IEC 14882:2011 języka C++ oraz kompilator GCC w wersji 5.4.0 [4].

3.1.1. STL

STL (ang. Standard Template Library) jest biblioteką standardową języka C++. Oferuje ona szereg kontenerów, klas, obiektów funkcyjnych oraz algorytmów. Składniki te opisane są w standardzie ISO języka C++, oraz gwarantują identyczne zachowanie w każdej implementacji [2]. Ułatwia to tworzenie aplikacji wieloplatformowych. Dzięki gotowym rozwiązaniom zawartym w bibliotece standardowej, proces wytwarzania oprogramowania zyskuje na prostocie i efektywności.

shared_ptr

shared_ptr jest typem umożliwiającym reprezentację własności wspólnej. Wykorzystywany jest w sytuacjach, gdy dwa (lub więcej) fragmenty kodu wymagają dostępu do danych, podczas gdy żaden nie jest odpowiedzialny za usunięcie tych danych. Obiekt shared_ptr jest rodzajem wskaźnika z licznikiem wystąpień. Jeśli liczba obiektów wskazujących na konkretną daną spadnie do zera, dana ta jest usuwana [2].

mutex

Muteks jest obiektem typu mutex, służącym do reprezentowania wyłącznych praw dostępu do konkretnego zasobu. Wykorzystuje się go do ochrony przed wyścigami do danych oraz synchronizacji dostępu do danych współdzielonych między wątkami.

Muteks może być w posiadaniu tylko jednego wątku na raz. Zajęcie muteksu jest równoznaczne z nabyciem wyłącznych praw własności do niego. Operacja zajmowania muteksu jest blokująca. Zwolnienie muteksu oznacza zrzeczenie się z prawa własności do niego. Daje to możliwość zajęcia muteksu przez inne oczekujące wątki [2].

3.2. Qt

Qt jest platformą programistyczną wyposażoną w narzędzia pozwalające usprawnić proces wytwarzania oprogramowania oraz interfejsów użytkownika dla aplikacji desktopowych, wbudowanych bądź mobilnych [5].

Platforma Qt posiada szerokie spektrum funkcjonalności. Między innymi są to:

- system meta-obiektów,
- mechanizm sygnałów i slotów służący do komunikacji pomiędzy obiektami,
- wbudowany system przynależności obiektów,
- wieloplatformowe wsparcie modułu wielowątkowości.

W systemie Gerbil jest wykorzystywane Qt w wersji 5.7.

3.2.1. Sygnały i sloty

Spośród rozszerzeń języka C++, jakie oferuje Qt, na szczególną uwagę zasługuje mechanizm sygnałów i slotów. Dzięki niemu możliwe jest skomunikowanie dwóch dowolnych obiektów w sposób alternatywny do użycia wywołań zwrotnych.

Sygnał jest wysyłany, gdy nastąpi jakieś zdarzenie (np. naciśnięcie przycisku przez użytkownika), natomiast slot jest odpowiedzią na ten sygnał. Sygnatury sygnału i slotu muszą być zgodne. Mechanizm ten jest luźno powiązany (ang. loosely coupled). Oznacza to, że klasa emitująca sygnał nie musi być świadoma klasy odbierającej. Sygnały i sloty pozwalają na przekazanie dowolnej liczby argumentów dowolnego typu. Sygnały muszą zostać zadeklarowane po słowie

kluczowym `signals`. Z jednym slotem można połączyć dowolną ilość sygnałów, i odwrotnie – z jednym sygnałem można skojarzyć dowolną ilość slotów.

Wszystkie klasy korzystające z tego mechanizmu muszą w swojej deklaracji zawierać makro `Q_OBJECT` oraz dziedziczyć (bezpośrednio bądź pośrednio) po klasie `QObject` [5].

Składnia

Sposób tworzenia połączeń zostanie zilustrowany na przykładzie. Za punkt wyjścia posłużą dwie klasy: `Sender` (Listing 3.1) oraz `Receiver` (Listing 3.2).

```
1  class Sender : public QObject
2  {
3      Q_OBJECT
4  public:
5      explicit Sender(QObject *parent = 0) : QObject(parent) {}
6
7  signals:
8      void sendMessage(QString msg);
9
10 };
```

Listing 3.1: Deklaracja klasy `Sender`

```
1  class Receiver : public QObject
2  {
3      Q_OBJECT
4  public:
5      explicit Receiver(QObject *parent = 0) : QObject(parent) {}
6
7      void receiveMessageMethod(QString msg) {
8          std::cout << "got message in method: " << msg;
9      }
10
11 public slots:
12     void receiveMessageSlot(QString msg) {
13         std::cout << "got message: " << msg;
14     }
15 };
```

Listing 3.2: Deklaracja klasy `Receiver`

Z analizy listingów 3.1 oraz 3.2 wynika, że klasa `Sender` zawiera sygnał `sendMessage`, natomiast klasa `Receiver` zawiera publiczną metodę `receiveMessageMethod` oraz publiczny slot `receiveMessageSlot`.

W Qt występują dwa rodzaje składni pozwalające na ustanowienie połączenia. Jedna z nich (starsza) pozwala na ustanowienie połączenia jedynie pomiędzy sygnałem a sygnałem, bądź sygnałem a slotem. Drugi rodzaj składni, wprowadzony w Qt5, pozwala dodatkowo na nawiązanie połączenia pomiędzy sygnałem a metodą klasy. Na listingu 3.3 przedstawiony jest zarówno stary jak i nowy zapis.

```
1  Sender sender;
2  Receiver receiver;
3
4  //stara skladnia
5  //poprawne
6  QObject::connect(&sender, SIGNAL(sendMessage(QString)), &receiver,
       ↳ SLOT(receiveMessageSlot(QString)));
7  //niepoprawne
8  QObject::connect(&sender, SIGNAL(sendMessage(QString)), &receiver,
       ↳ SLOT(receiveMessageMethod(QString)));
9
10 //nowa skladnia
11 QObject::connect(&sender, &Sender::sendMessage, &receiver,
       ↳ &Receiver::receiveMessageMethod);
12 QObject::connect(&sender, &Sender::sendMessage, &receiver,
       ↳ &Receiver::receiveMessageSlot);
```

Listing 3.3: Składnia tworzenia połączeń między obiektami

Mechanizm sygnałów i slotów jest powszechnie wykorzystywany w systemie Gerbil do ustanowienia komunikacji pomiędzy obiektami. Używana jest zarówno stara jak i nowa składnia.

3.2.2. Wątek GUI oraz wątki robocze

GUI (ang. Graphical User Interface) jest graficznym interfejsem użytkownika. Każda aplikacja jest uruchamiana w osobnym wątku. Jest on nazywany wątkiem głównym (bądź "wątkiem GUI" w aplikacjach Qt). Interfejs użytkownika rozwijany w Qt musi zostać uruchomiony w tym wątku. Wszystkie komponenty graficznego interfejsu użytkownika (ang. widget) oraz kilka klas pochodnych nie zadziałają w wątkach pobocznych. Wątki poboczne są często nazywane "wątkami roboczymi", ponieważ wykorzystywane są aby odciążyć główny wątek od skomplikowanych obliczeń [5]. Gdyby te obliczenia były wykonywane w głównym wątku, aplikacja przestałaby być responsywna podczas obliczeń, co jest zawsze efektem niepożądanym.

3.3. Boost

Boost jest kolekcją bibliotek do języka C++. Biblioteki te poszerzają funkcjonalności tego języka [6]. Wiele z bibliotek rozwijanych przez Boost zostało włączonych do standardu C++. Z perspektywy systemu Gerbil na specjalną uwagę zasługuje Boost.Any.

3.3.1. Boost.Any

W języku C++ kwestia przechowania obiektów dowolnego typu jest problematyczna, ponieważ jest to język statycznie typowany.

`void*`

W czystym C++ można użyć `void*`. Do zmiennej typu `void*` można przypisać wskaźnik dowolnego typu poza wskaźnikiem do funkcji oraz wskaźnikiem do składowej. Aby użyć takiej zmiennej należy dokonać jawnej konwersji `static_cast`. Do zastosowania `void*` w kodzie wysokopoziomowym należy podchodzić z rezerwą. Może to wskazywać na błędy projektowe [2].

`boost::any`

Rozwiązaniem, które z powodzeniem można stosować w kodzie wysokopoziomowym jest właśnie klasa `boost::any`. Jego zdecydowaną przewagą nad `void*` jest bezpieczny typowo interfejs. Jest to kontener opakowujący pojedynczy obiekt niemal dowolnego typu (obiekt musi posiadać możliwość inicjalizacji na bazie innego obiektu tego typu – ang. copy-constructible). Aby użyć obiektu przechowywanego przez `boost::any` należy dokonać rzutowania `boost::any_cast`. Jeżeli zostanie podany typ, na który obiekt nie może zostać zrzutowany, zostanie zgłoszony wyjątek `boost::bad_any_cast` [6].

3.4. Intel Threading Building Blocks

Intel Threading Building Blocks (TBB) jest biblioteką szablonów ułatwiającą programowanie równoległe. W swojej ofercie posiada gotowe struktury danych oraz zrównoleglone algorytmy [7].

W systemie Gerbil biblioteka TBB używana jest głownie do implementacji algorytmów przetwarzania obrazów wielospektralnych.

3.5. OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) to biblioteka przeznaczona do rozpoznawania obrazów oraz uczenia maszynowego [8].

Biblioteka ta znajduje wykorzystanie w systemie Gerbil jako bogata baza struktur danych wykorzystywanych do przetwarzania obrazów oraz zaawansowanych algorytmów rozpoznawania obrazów.

Rozdział 4

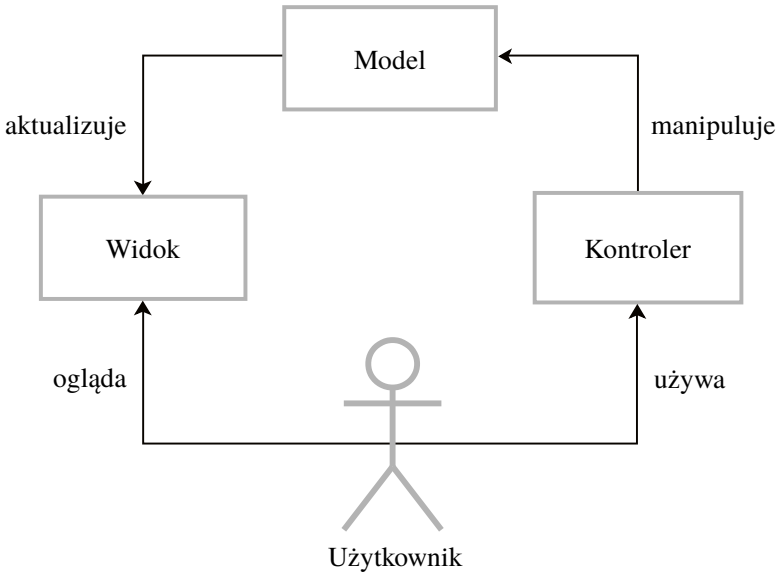
Aktualny stan projektu Gerbil

4.1. Wzorzec MVC

Aplikacja Gerbil jest zaprojektowana według wzorca MVC (Model-View-Controller) z wykorzystaniem platformy Qt. MVC jest wzorcem architektonicznym używanym często do tworzenia interfejsów użytkownika. Podstawą MVC są trzy obiekty:

- model – komponent odpowiedzialny za serwowanie danych;
- widok – komponent odpowiedzialny za wizualizację danych;
- kontroler – komponent definiujący logikę, za pomocą której interfejs użytkownika odpowiada na jego żądania.

Podział tych ról można zaobserwować na rysunku 4.1.



Rys. 4.1: Podział ról we wzorcu architektonicznym MVC

Dzięki wykorzystaniu tego wzorca sposób przechowywania danych nie ma wpływu na to jak są one przedstawione użytkownikowi [5].

4.2. Architektura aplikacji Gerbil

W aplikacji Gerbil wzorzec MVC zastosowano w sposób klasyczny:

- modele są odpowiedzialne za obliczenia danych oraz sygnalizowanie pojawienia się ich nowej wersji;
- widoki wyświetlają dane;
- kontrolery zajmują się kojarzeniem akcji użytkownika z konkretną funkcjonalnością modelu.

Dodatkowo w aplikacji występuje wątek roboczy. W nim uruchomiona jest kolejka zadań. Zadanie (obiekt klasy `Task`) jest komponentem realizującym wykonanie czasochłonnego algorytmu analizy danych. Modele tworzą zadania i przekazują je do kolejki. Kolejka przyjmuje zadania i wykonuje je po kolei. W ten sposób skomplikowane obliczenia nie blokują wątku GUI, który pozostaje przez cały czas responsywny.

W takiej architekturze pojawia się problem dostępu do danych, ponieważ dwa wątki (wątek GUI, w którym znajdują się komponenty MVC, oraz wątek roboczy, w którym wykonywane są zadania) próbują uzyskać dostęp do tych samych danych. Zadania wykonywane w tle powinny w bezpieczny sposób dokonywać zapisu danych. Widoki zaś powinny być w stanie bezawaryjnie wizualizować dane oraz dbać o aktualność prezentowanych danych.

4.2.1. Wady architektury

System ten jest mocno zdecentralizowany. Na barkach kontrolerów spoczywa odpowiedzialność odpowiedniej propagacji sygnałów informujących o nowej wersji danych, inwalidacji danych, jak również zapytań o dokonanie nowych obliczeń. Prowadzi to do:

- zaciemnienia kodu źródłowego zbędnymi instrukcjami warunkowymi,
- zignorowania pewnych sygnałów,
- podjęcia niewłaściwej decyzji.

Zarządzanie zadaniami również jest wadliwe. W przypadku gdy użytkownik poprzez interakcję z systemem zleci wykonanie na raz kilku zadań dokonujących obliczeń na tych samych danych, system może zachować się w sposób nieoczekiwany. Prowadzi to do zakończenia aplikacji z powodu naruszenia ochrony pamięci. Nowa wersja systemu powinna w najgorszym wypadku zakolejkować te zadania i wykonać jedno po drugim.

Wiele komponentów interfejsu użytkownika przechowuje własne uchwyty do danych oraz ewentualnie muteks. Wobec tego same dokonują synchronizacji lub nie robią tego wcale. Nieprzemyślany model doprowadził do wielu patologii. Przykład stanowi używanie współdzielonych wskaźników do przekazywania danych, podczas gdy dane te z założenia powinny być współdzielone.

Konkluzja

Aktualny model współdzielonych danych, w powiązaniu z modelem zarządzania nimi nie gwarantuje bezpiecznego dostępu do danych ani prawidłowego przebiegu procesu wykonania zadań.

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione problemy nowy mechanizm zarządzania danymi oraz procesem wykonania powinien:

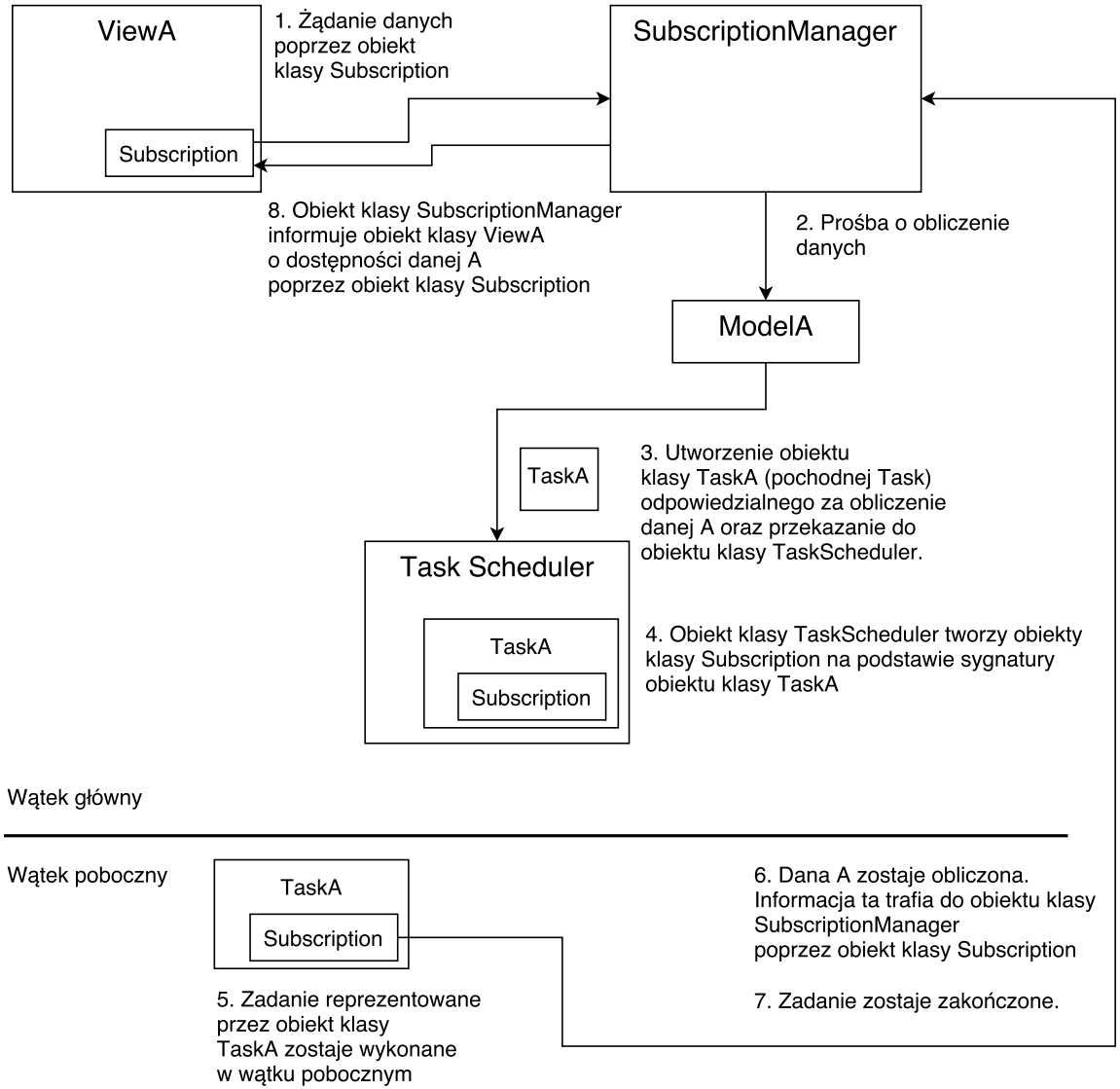
- posiadać wewnętrzny mechanizm synchronizacji dostępu do danych,
- gwarantować bezpieczny dostęp do współdzielonych danych,
- gwarantować bezpieczne wykonanie zadań w tle,
- gwarantować prawidłową kolejność procesu przetwarzania danych,
- posiadać scentralizowany mechanizm propagacji sygnałów,
- prawidłowo propagować informację o dostępności nowej wersji danych,
- prawidłowo propagować informację o żądaniu obliczeń nowych danych.

Rozdział 5

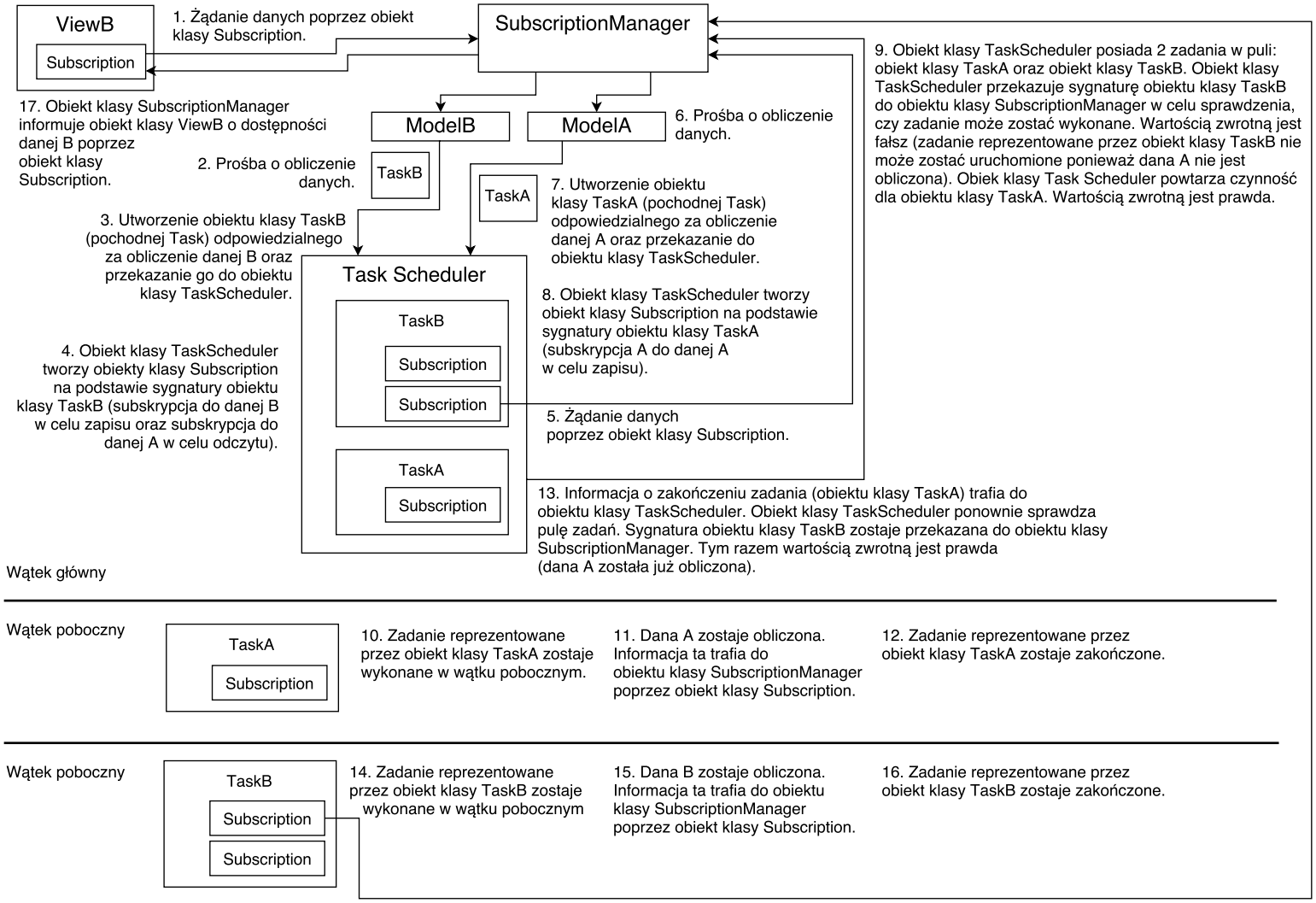
Projekt nowego systemu

5.1. Zarys projektu

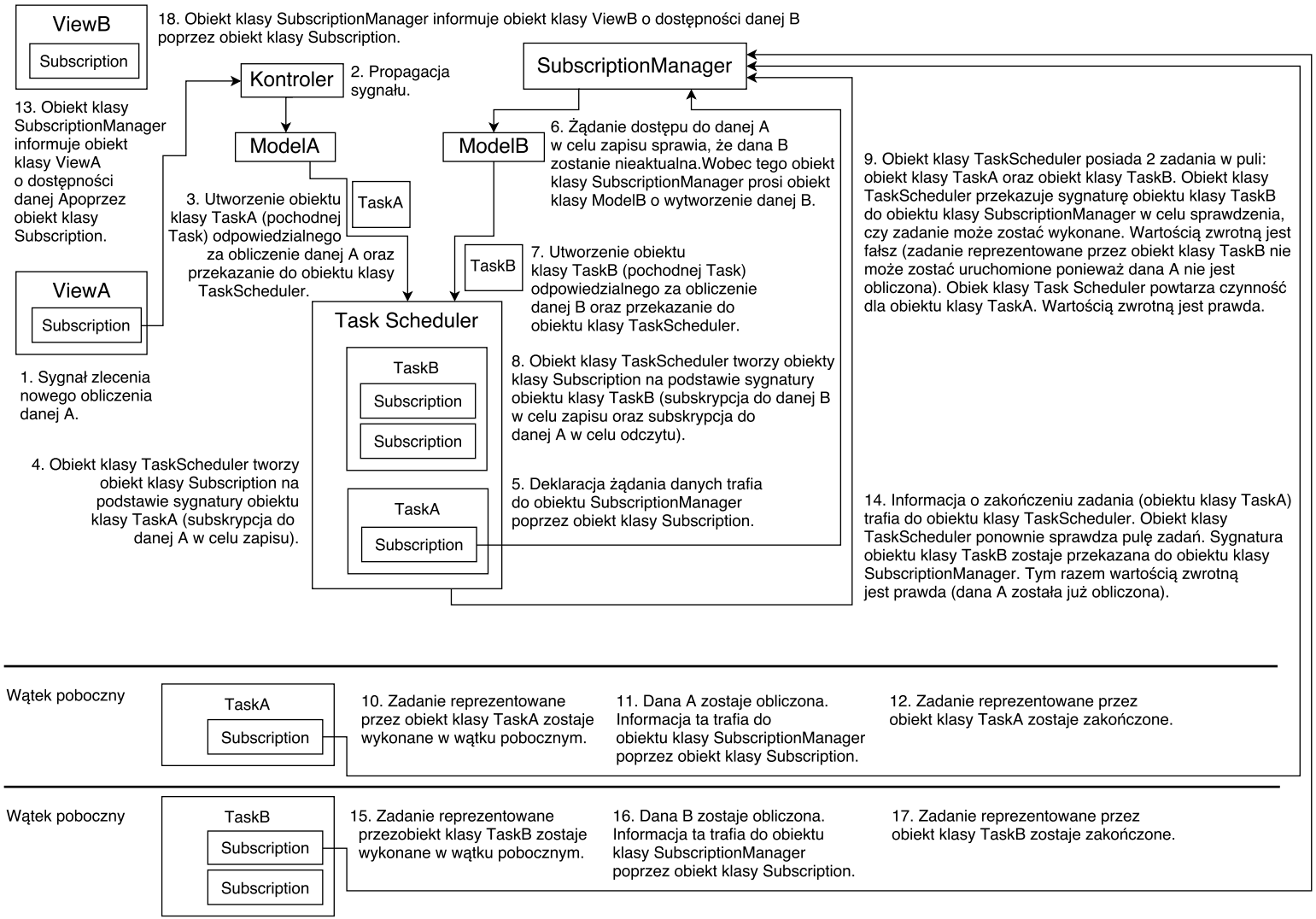
Nowy system opiera się na klasie `SubscriptionManager`. Obiekt tej klasy jest właścicielem wszystkich współdzielonych danych w systemie oraz kontroluje dostęp do tych danych. Pozostałe komponenty uzyskują dostęp do danych przez obiekty klasy `Subscription`. Dane tworzą graf zależności, który zapewnia automatyczne obliczanie potrzebnych danych. Klasy implementujące interfejs `Model` (zbliżone do modeli we wzorcu MVC) kontrolują proces powstawania danej poprzez tworzenie odpowiednio sparametryzowanych zadań (obiektów klasy `Task`). Utworzone zadania trafiają do obiektu klasy `TaskScheduler`, który zarządza ich wykonaniem. Na rysunkach 5.1|, 5.2 oraz 5.3 zostały zaprezentowane typowe scenariusze, które występują w systemie oraz przybliżają ideę jego działania.



Rys. 5.1: Scenariusz przedstawiający żądanie obliczenia danej A poprzez aktywowanie widoku A (obiektu klasy `ViewA`).



Rys. 5.2: Scenariusz przedstawiający żądanie obliczenia danej B poprzez aktywowanie widoku B (obiektu klasy `ViewB`). Założenie początkowe: dana B jest zależna od danej A.



Rys. 5.3: Scenariusz przedstawiający żądanie obliczenia danej A poprzez interakcję użytkownika z widokiem A (obiektem klasy `ViewA`). Założenia początkowe: widoki A i B są aktywne i prezentują dane A i B. Dana B jest zależna od danej A.

5.2. Model danych współdzielonych

Ważne jest aby do roli danej współdzielonej można było promować każdą daną w systemie. Dlatego model danej współdzielonej nie może opierać się na interfejsie, który inne klasy by implementowały, lecz na opakowaniu, w które można każdą daną włożyć. Klasa danych współdzielonych nazwana została `DataEntry`.

5.2.1. Przechowywanie danych

Kwestię przechowania dowolnego typu można rozwiązać poprzez wykorzystanie `boost::any`. Natomiast problem uchwytu do danych, którego można użyć w różnych fragmentach kodu rozwiązuje `std::shared_ptr`. Z tego powodu `std::shared_ptr<boost::any>` stanowi trzon modelu danych współdzielonych. Zarówno dane jak i towarzyszące im metadane są przechowywane w ten sposób.

```
1 using handle = std::shared_ptr<boost::any>;
2 using handle_pair = std::tuple<handle, handle>;
```

Listing 5.1: Aliasy używane w kodzie aplikacji

Aby kod był bardziej zwięzły stosowane są w nim aliasy (Listing 5.1). Pierwsza linia jest skróceniem zapisu typu uchwytu do danych, natomiast druga skraca zapis pary takich uchwytów (para uchwytów często jest wykorzystywana do reprezentacji danych zagregowanych z metadanymi).

5.2.2. Synchronizacja dostępu do danych

Rozwiązanie to jednak nie likwiduje problemu synchronizacji dostępu do danych. Wobec tego model został wzbogacony o muteks oraz dwie zmienne warunkowe (Listing 5.2). Pierwsza zmienna warunkowa – `not_reading` służy do obsłużenia wątków oczekujących na dostęp do danych w celu zapisu, natomiast druga `not_writing` do obsługi wątków oczekujących na dostęp do danych w celu odczytu.

```
1 std::mutex mu;
2 std::condition_variable not_reading;
3 std::condition_variable not_writing;
```

Listing 5.2: Składowe klasy `DataEntry` zapewniające bezpieczne użycie w środowisku wielowątkowym

Z pomocą tych narzędzi model udostępnia metody pozwalające na bezpieczny dostęp do danych w aplikacji wielowątkowej.

```
1  handle_pair DataEntry::read()
2  {
3      std::unique_lock<std::mutex> lock(mu);
4      not_writing.wait(lock, [this]() {
5          return !doWrite && initialized;
6      });
7      return handle_pair(data_handle, meta_handle);
8  }
9
10 void DataEntry::endRead()
11 {
12     if (doReads == 0) not_reading.notify_one();
13 }
```

Listing 5.3: Metody klasy `DataEntry` zapewniające bezpieczny odczyt danych współdzielonych w środowisku wielowątkowym

Na listingu 5.3 widoczna jest implementacja metod realizujących dostęp do danych w celu odczytu.

W metodzie `read` tworzona jest blokada, która zajmuje muteks. Następnie wątek wywołujący metodę zostaje uśpiony do momentu powiadomienia przez zmienną warunkową. Aby uniknąć fałszywych wybudzeń przekazywana jest dodatkowo wyrażenie lambda, która służy za predykat. Jeśli wartość zwrócona przez lambdę jest prawdziwa (zawarte jest w niej sprawdzenie czy wewnętrzny stan danej jest prawidłowy), wówczas wybudzenie jest słuszne. Po wybudzeniu zostaje zwrócona para uchwytów – do danej oraz metadanej.

Metoda `endRead` służy do sygnalizacji zakończenia odczytu. W jej ciele wykonywane jest sprawdzenie czy wewnętrzny stan danej jest prawidłowy. Jeśli jest, wówczas zmienna warunkowa `not_reading` dokonuje przebudzenia jednego z wątków oczekujących na dostęp do danych w celu zapisu.

```
1  handle_pair DataEntry::write()
2  {
3      std::unique_lock<std::mutex> lock(mu);
4      not_reading.wait(lock, [this]() {
5          return doReads == 0 && !doWrite;
6      });
7
8      return handle_pair(data_handle, meta_handle);
9  }
10
11 void DataEntry::endWrite()
12 {
13     if (!doWrite) not_writing.notify_all();
14 }
```

Listing 5.4: Metody klasy `DataEntry` zapewniające bezpieczny zapis danych współdzielonych w środowisku wielowątkowym

Analizując implementację metod pozwalających na bezpieczny zapis danych przedstawionych na listingu 5.4 można dostrzec dużą analogie do metod z listingu 5.3. Jedyną zasadniczą różnicą jest fakt, że po zakończeniu zapisu zmienna warunkowa `not_writing` budzi wszystkie wątki oczekujące na dostęp w celu odczytu.

5.3. Model

Model jest zmodyfikowaną wersją modelu z wzorca MVC. Jego zadaniem jest kontrola procesu wytworzenia danej. Interfejs zdefiniowany dla modelu został przedstawiony na listingu 5.5.

```
1  class Model : public QObject
2  {
3      Q_OBJECT
4  public:
5      explicit Model(SubscriptionManager& sm, TaskScheduler* scheduler,
6                           QObject *parent = 0);
7      virtual ~Model();
8
9  public slots:
10     virtual void delegateTask(QString requestedId,
11                                 QString parentId = "") = 0;
12     void taskFinished(QString id, bool success);
13
14 protected:
15     void registerData(QString dataId,
16                           std::vector<QString> dependencies);
17     bool isTaskCurrent(QString id);
18
19 private:
20     SubscriptionManager& sm;
21     TaskScheduler* scheduler;
22
23     std::map<QString, std::shared_ptr<Task>> tasks;
24
25 };
```

Listing 5.5: Interfejs klasy `Model`

Metoda `registerData` służy do rejestrowania danych. Za jej pomocą model zgłasza współdzielone dane, za które bierze odpowiedzialność. Każda dana współdzielona, aby istnieć w systemie, musi zostać zarejestrowana przez któryś z modeli (obiekt klasy pochodnej od klasy `Model`). Do zarejestrowania danej wymagane jest jej identyfikator (ID) oraz lista ID danych, od której owa dana jest zależna. Na listingu 5.6 został przedstawiony przykład rejestrowania współdzielonych danych. W pierwszych dwóch liniach zarejestrowane zostały dane, które są niezależne (lista ich zależności jest pusta). W trzeciej linii jest wyrażona rejestracja danej `image.IMG` oraz jej zależności od danych `image` oraz `ROI`. Dzięki takiemu formatowi rejestrowania danych system jest w stanie stworzyć graf zależności danych, wykorzystywany do prawidłowej propagacji informacji.

```
1 registerData("image", {});
2 registerData("ROI", {});
3 registerData("image.IMG", {"image", "ROI"});
```

Listing 5.6: Przykłady rejestrowania danych

Z analizy listingu 5.5 wynika, że klasa implementująca interfejs `Model` musi zdefiniować metodę `delegateTask`, aby nie być klasą abstrakcyjną. Metoda ta jest kluczowa dla tego interfejsu, oraz bardzo ważna dla całego systemu. W definicji tej metody powinna znaleźć się obsługa żądania dokonania obliczeń danych. Żądanie takie może płynąć bezpośrednio od użytkownika, bądź w sposób pośredni, na skutek wewnętrznego mechanizmu systemu. Standardowym zachowaniem modelu jest utworzenie odpowiedniego obiektu klasy implementującej interfejs `Task` i przekazanie go do obiektu klasy `TaskScheduler`. Teoretycznie możliwe jest, aby model sam dokonał obliczenia danej, zamiast tworzyć obiekt klasy implementującej interfejs `Task`. Ta metoda jednak nie jest zalecana. Dopuszcza się jej stosowanie jedynie w przypadku nieskomplikowanych obliczeń na małych strukturach danych.

Dodatkowo na uwagę zasługuje metoda `isTaskCurrent`, dzięki której można sprawdzić, czy istnieje aktualnie zadanie o danym ID, oczekujące na wykonanie, bądź aktualnie wykonywane. Informacja ta jest pomocna w tworzeniu rozbudowanej logiki modelu.

5.4. Klasa Subscription oraz klasa Lock

Obiekt klasy `Subscription` pełni rolę pośrednika między jednostką zarządzającą danymi a jednostką, która o dostęp do danych prosi. Poprzez utworzenie obiektu klasy `Subscription` komponent deklaruje chęć uzyskania dostępu do konkretnej danej (utworzenie subskrypcji do danej). Do stworzenia takiego obiektu potrzebne jest ustalenie jego przeznaczenia (odczyt bądź zapis) oraz podanie nazwy pożądanej danej.

Aby dokonać faktycznego dostępu do danej tworzy się obiekt klasy `Lock`. Podczas inicjalizacji przekazuje mu się obiekt klasy `Subscription`. `Lock` jest szablonem klasy. Podczas tworzenia takiego obiektu należy skonkretyzować go dwoma typami: pierwszy jest typem żądanej danej, natomiast drugi jest typem jej metadanej. Jeżeli jednak nie ma się zamiaru korzystać z metadanej, nie ma potrzeby podawania jej typu. Za pomocą obiektu klasy `Lock` można otrzymać bezpośredni uchwyt do danej oraz do metadanej. Podczas pozyskiwania uchwytów wewnętrzna implementacja klasy `Lock` dokonuje rzutowania z typu `boost::any` na podany przy tworzeniu obiektu klasy `Lock` typ, stąd potrzeba ich specyfikowania. Dostęp do danych może być blokujący – wykonanie w wątku dokonującym dostępu do danych może zostać wstrzymane. Wynika to z mechanizmów odczytu/zapisu modelu danych współdzielonych oraz logiki jednostki zarządzającej danymi.

Klasa `Subscription` zapewnia jeszcze jedną bardzo ważną funkcjonalność. Jest nią sygnalizowanie aktualizacji danych. Jest to bardzo przydatne dla komponentów interfejsu graficznego,

których zadaniem jest prezentowanie żądanych danych oraz dbanie o aktualność tych danych. Aby ułatwić to zadanie, komponent GUI może podczas tworzenia obiektu klasy `Subscription` przekazać metodę, w ciele której realizowana będzie obsługa sygnału aktualizacji danej. Dzięki temu komponenty takie jak widok nie muszą posiadać logiki sprawdzania czy dane zostały zaktualizowane. Taki sposób dostępu do danych został nazwany odroczonym (ang. deferred). Konstrukcja obiektu klasy `Subscription` w ten sposób została przedstawiona na listingu 5.7. W opozycji do dostępu odroczonego stoi dostęp bezpośredni (ang. direct), który jest bardziej uniwersalny. Jest to nic innego jak utworzenie obiektu klasy `Subscription` oraz obiektu klasy `Lock`. Deklarując dostęp odroczony przy tworzeniu obiektu subskrypcji można używać również dostępu bezpośredniego (co zazwyczaj ma miejsce w ciele metody, która jest obsługą sygnału aktualizacji danej). Nie można jednak używać dostępu odroczonego jeśli obiekt klasy `Subscription` został utworzony z zadeklarowanym dostępem bezpośrednim. Konstrukcja dostępu bezpośredniego została przedstawiona na listingu 5.8.

```
1 Subscription* sub = SubscriptionFactory::create(Dependency("image.IMG",
2     SubscriptionType::READ), AccessType::DEFERRED, this,
3     std::bind(&ImgWindow::displayImg, this));
```

Listing 5.7: Przykład tworzenia obiektu klasy `Subscription` z odroczonym dostępem do danych

```
1 Subscription* sub = SubscriptionFactory::create(Dependency("image.IMG",
2     SubscriptionType::READ), AccessType::DIRECT);
```

Listing 5.8: Przykład tworzenia obiektu klasy `Subscription` z bezpośrednim dostępem do danych

Aby umożliwiać dostęp do danych, obiekt klasy `Subscription` potrzebuje uchwytu do jednostki zarządzającej danymi (obiektu klasy `SubscriptionManager`). Ważne jest jednak, aby dostęp do danych współdzielonych był prosty dla wszystkich komponentów w systemie – również tych, które nie mają dostępu do jednostki zarządzania danymi. Zatem aby tworzenie obiektów klasy `Subscription` było możliwe z dowolnego miejsca w kodzie realizowane jest ono poprzez obiekt klasy `SubscriptionFactory`. Klasa ta jest implementacją wzorca projektowego – fabryki. Obiekt klasy `SubscriptionFactory` posiada uchwyt do obiektu klasy `SubscriptionManager`, który przekazuje obiektowi klasy `Subscription` podczas jego inicjalizacji.

5.5. Klasa Task

Klasa `Task` jest odpowiedzialna za bezpośrednie obliczenie danych. Służy zatem do zaktualizowania danej bądź jej inicjalizacji. Jest to klasa abstrakcyjna służąca jako interfejs. W dalszej części tekstu obiekt klasy implementującej interfejs `Task` nazywany będzie obiektem zadania.

Podstawową zasadą obiektu zadania jest to, że zawsze dokonuje on modyfikacji tylko jednej danej, natomiast może bazować na dowolnej liczbie danych, określanych jako "źródła".

Każdy obiekt zadania posiada składową `dependencies`, która jest listą jego zależności. Złożona jest ona z danej modyfikowanej oraz źródeł. Dla każdej danej w liście zależności określony jest również cel dostępu do niej (odczyt bądź zapis).

Identyfikator (ID) modyfikowanej danej musi zostać przekazany obiektowi zadania jako parametr jego konstruktora. Identyfikatory źródeł również są przekazywane w konstruktorze, lecz w postaci mapy. W mapie tej kluczem jest identyfikator źródła, natomiast wartością identyfikator, według którego ta dana będzie rozróżniana wewnątrz zadania. Jest to zabieg zastosowany w celu ujednolicenia konwencji nazewniczej wewnątrz obiektów zadań. Zazwyczaj obiekty te posiadają jedynie jedno źródło, do którego odnoszą się za pomocą identyfikatora `source`. ID danej modyfikowanej jest automatycznie mapowany na nazwę `dest`.

Obiekty zadań, aby móc realizować dostęp do danych musi posiadać odpowiednie obiekty klasy `Subscription`. Przeznaczona na nie jest składowa `subscriptions`. Komponent nadrzędny, zarządzający zadaniem (obiekt klasy `TaskScheduler`) jest zobowiązany do utworzenia dla niego właściwych obiektów klasy `Subscription` (na podstawie jego zależności, zwracanych przez metodę `getDependencies`) oraz przekazania ich poprzez metodę `setSubscription`. Teoretycznie obiekt zadania może sam tworzyć obiekty klasy `Subscription`, jednak nie jest to zalecane, a wręcz uznawane za błąd koncepcyjny. Jego przeznaczeniem jest dokonywanie obliczeń na danych. Komponent tego typu nie powinien zajmować się zarządzaniem obiektami klasy `Subscription`.

Każdy obiekt zadania posiada własny identyfikator. Może być on przekazany jako parametr konstruktora. Jeżeli nie jest, wówczas identyfikatorem obiektu zadania staje się identyfikator modyfikowanej danej. Wywołanie metody `start` może być rozumiane jako uruchomienie obiektu zadania, natomiast jej zakończenie jako zakończenie wykonywania zadania. W jej ciele dokonywana jest faktyczna kalkulacja danej.

Interfejs klasy `Task` został przedstawiony na listingu 5.9.

```
1  class Task : public QObject
2  {
3      Q_OBJECT
4  public:
5      explicit Task(QString target, std::map<QString, QString> sources);
6      explicit Task(QString id, QString target, std::map<QString, QString>
           ↳ sources);
7
8      virtual ~Task();
9      virtual bool start() final;
10     virtual void setSubscription(QString id,
           ↳ std::shared_ptr<Subscription> sub) final;
11
12     std::vector<Dependency>& getDependencies();
13     QString getId();
14
15 signals:
16     void finished(QString id, bool success);
17
18 protected:
19     virtual bool run() = 0;
20     virtual std::shared_ptr<Subscription> sub(QString id) final;
21     virtual bool subExists(QString id) final;
22     virtual bool isCancelled();
23
24 private:
25     QString id;
26     std::vector<Dependency> dependencies;
27     std::map<QString, QString> sources;
28     std::map<QString, std::shared_ptr<Subscription>> subscriptions;
29
30 };
```

Listing 5.9: Interfejs klasy `Task`

Analizując listing 5.9 można ustalić, że klasy implementujące interfejs `Task` muszą zdefiniować metodę `run`, aby nie być abstrakcyjne. Co więcej, wystarczające jest aby klasa zdefiniowała jedynie konstruktory oraz tę metodę, ponieważ właśnie ta ona przeznaczona jest do wykonywania obliczeń na danych. Wszelkie pozostałe metody mają charakter pomocniczy oraz są zapewnione przez klasę bazową. W jej ciele do obiektu klasy `Subscription` można się odwołać za pomocą metody `sub`. Można również sprawdzić czy obiekt klasy `Subscription` został utworzony dzięki metodzie `subExists`. Argumentem obu tych metod jest wewnętrzny identyfikator danej. Obiekt zadania po zakończeniu metody `run` emituje sygnał `finished`. Informacja taka może być przydatna dla modelu odpowiedzialnego za dane zadanie.

5.6. Klasa TaskScheduler

Klasa `TaskScheduler` jest odpowiedzialna za zarządzanie obiektami zadań. W całym systemie powinna występować jedynie jedna instancja tej klasy. Jak można wywnioskować z listingu 5.10 klasa ta nie jest skomplikowana. Poprzez jedyną publiczną metodę `pushTask` trafiają do niej obiekty zadań utworzone przez modele. Gdy obiekt taki zostanie przekazany do obiektu klasy `TaskScheduler`, ten tworzy dla niego obiekty klasy `Subscription`. Funkcjonalność tę realizuje metoda `createSubscriptions`. Obiekt zadania, który posiada utworzone obiekty klasy `Subscription` trafia do puli zadań (składowa `taskPool`). Po dodaniu obiektu zadania do puli, pula zostaje przeiterowana w poszukiwaniu obiektów zadań gotowych do uruchomienia. Predykatem w kwestii, czy obiekt zadania może zostać uruchomiony, czy też nie jest metoda `processDependencies` klasy `SubscriptionManager`. Obiekt klasy `TaskScheduler` przekazuje mu listę zależności obiektu zadania, a z powrotem otrzymuje wartość logiczną. Jeżeli jest ona równa **`true`**, wówczas obiekt klasy `TaskScheduler` uruchamia obiekt zadania za pomocą metody `startTask`. Jeżeli otrzymana wartość wynosi **`false`**, obiekt klasy `TaskScheduler` nie podejmuje żadnych akcji dla tego obiektu zadania i powraca do iteracji puli.

W metodzie `startTask` tworzony jest wątek, do którego przekazywany jest obiekt zadania. Wątek jest uruchamiany, a w nim uruchamiany zostaje obiekt zadania. Dodatkowo ustanawiane jest połączenie, za pomocą którego po zakończeniu obiektu zadania obiekt klasy `TaskScheduler` ponownie iteruje pulę zadań w celu znalezienia kandydata do uruchomienia.

```
1  class TaskScheduler : public QObject
2  {
3      Q_OBJECT
4  public:
5      TaskScheduler(SubscriptionManager& sm);
6      void pushTask(std::shared_ptr<Task> task);
7
8  private:
9      void checkTaskPool();
10     void startTask(std::shared_ptr<Task> task);
11     void createSubscriptions(std::shared_ptr<Task> task);
12
13     std::list<std::shared_ptr<Task>> taskPool;
14     SubscriptionManager& sm;
15 };
```

Listing 5.10: Deklaracja klasy `TaskScheduler`

5.7. Klasa SubscriptionManager

Klasa `SubscriptionManager` pełni rolę głównego komponentu systemu. W całym systemie powinna występować jedynie jedna instancja klasy `SubscriptionManager`. Obiekt tej klasy agreguje wszystkie dane współdzielone oraz nimi zarządza. Do jego odpowiedzialności należą:

- przyznawanie dostępu do danych,
- propagacja informacji o dostępności nowej wersji danych,
- propagacja informacji o żądaniu obliczeń nowych danych,
- zarządzanie cyklem życia danych,
- kontrola wewnętrznego stanu danych.

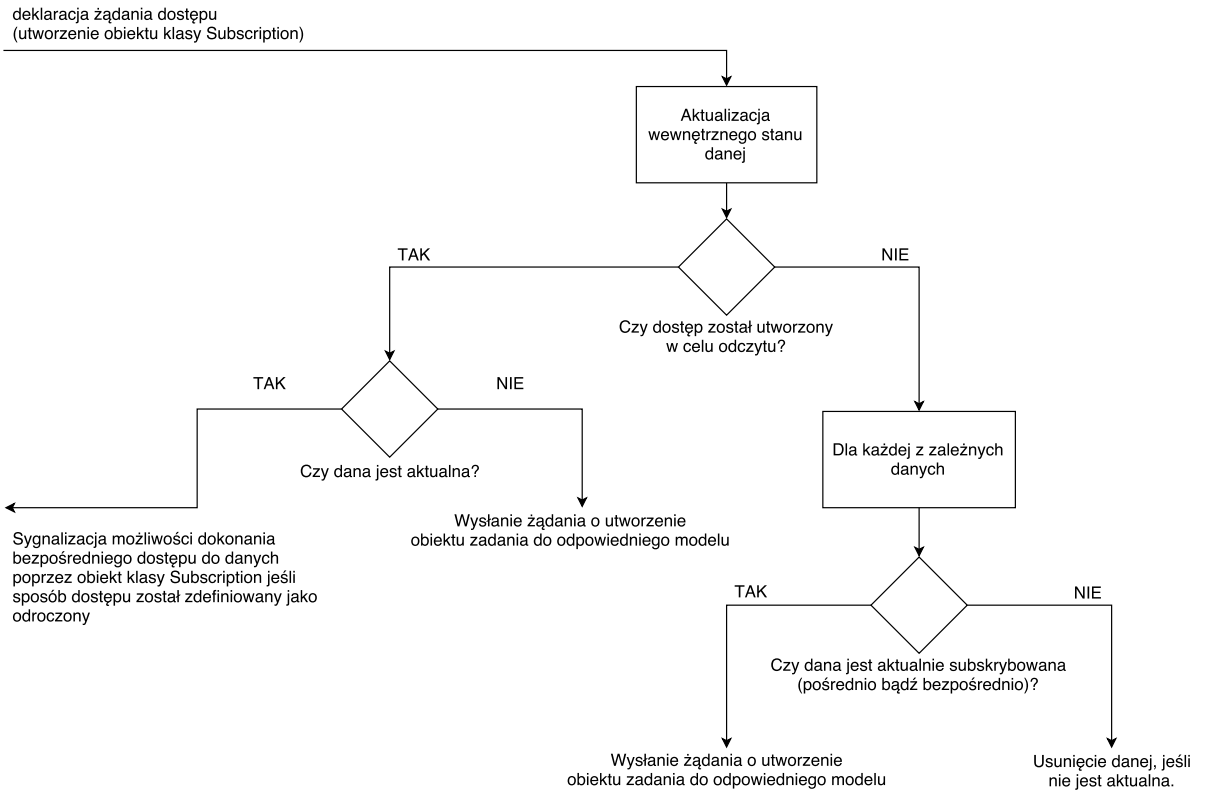
Funkcjonalności oferowane przez omówione wcześniej komponenty – obiekty klasy `Subscription` oraz obiekty klasy `Lock` nie są przez nie realizowane. Klasa `Subscription` czy klasa `Lock` stanowi jedynie interfejs udostępniający funkcjonalności klasy `SubscriptionManager`. Dla każdej danej kontrolowanej przez obiekt tej klasy przechowywane są następujące informacje:

- liczba obiektów klasy `Subscription` utworzonych w celu odczytu danej,
- flaga wskazująca na istnienie obiektu klasy `Subscription` utworzonego w celu zapisu danej,
- liczba aktywnych dostępów do danych w celu odczytu - pierwsza próba dostępu do danej bądź metadanej przy użyciu obiektu klasy `Lock` jest rejestrowana przez obiekt klasy `SubscriptionManager` jako aktywny dostęp do danych. Dostęp jest uznawany za zakończony gdy obiekt klasy `Lock` wyjdzie poza zasięg, bądź przez jawne zakończenie dostępu poprzez metodę `release` klasy `Lock`,
- flaga wskazująca na aktywny dostęp do danych w celu zapisu - analogicznie jak w przypadku powyższym,
- flaga determinująca czy dana została zainicjalizowana,
- flaga determinująca czy dana jest aktualna,
- uchwyt do modelu, który zarejestrował daną,
- kolekcję identyfikatorów danych zależnych,
- kolekcję obiektów klasy `Subscription` utworzonych w celu dostępu do tej danej.

Gdy jakiś komponent utworzy obiekt klasy `Subscription`, obiekt ten staje się pośrednikiem w celu dostępu do danej pomiędzy danym komponentem, a obiektem klasy `SubscriptionManager`.

Jeśli obiekt klasy `Subscription` został stworzony w celu odczytu danej, klasa `SubscriptionManager` inkrementuje liczbę takich obiektów. Jeżeli ze stanu danej wynika, że nie jest ona aktualna bądź zainicjalizowana obiekt klasy `SubscriptionManager` wysyła żądanie o utworzenie zadania obliczającego do modelu odpowiedzialnego za tą daną. Jeżeli dana jest aktualna oraz nie odbywa się aktualnie zapis tej danej a obiekt klasy `Subscription` został utworzony ze zdefiniowanym odroczonym sposobem dostępu do danej, obiekt klasy `SubscriptionManager` wysyła sygnał do komponentu (poprzez obiekt klasy `Subscription`), mówiący że dana jest aktualna i można przeprowadzić do niej dostęp. Scenariusz ten został przedstawiony na rysunku 5.4.

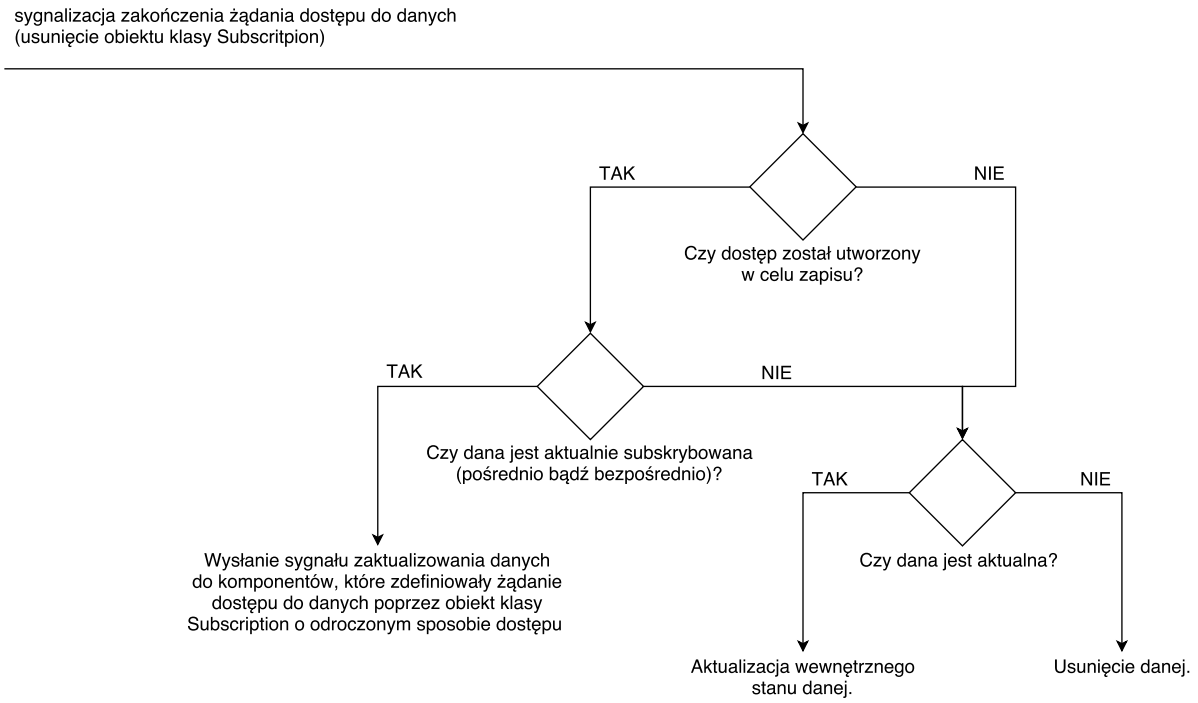
Jeśli obiekt klasy `Subscription` został stworzony w celu zapisu (modyfikacji) danej, klasa `SubscriptionManager` przypisuje wartość logiczną prawdy do flagi wskazującej na obecność takiego typu obiektu oraz wartość logiczną fałszu do flagi wskazującej na aktualność danej. Następnie sygnał o modyfikacji danej jest propagowany w dół grafu zależności danych. Jeżeli któraś z danych zależnych od danej, która będzie zmodyfikowana, jest bezpośrednio lub pośrednio subskrybuowana (istnieją obiekty klasy `Subscription` utworzone w celu dostępu do tej danej, bądź danej od niej zależnej), wówczas do modelu odpowiedzialnego za nią wysyłane jest żądanie o utworzenie obiektu zadania obliczającego. Zazwyczaj model reaguje pozytywnie – tworzy obiekt zadania, przekazuje go do obiektu klasy `TaskScheduler`, który tworzy obeiekty klasy `Subscription` dla obiektu zadania (w tym zawsze jeden w celu zapisu), przez co wykonanie znowu znajduje się w punkcie rejestrowania faktu subskrypcji (utworzenia obiektu klasy `Subscription`) przez klasę `SubscriptionManager`, tym razem jednak dla danej pochodnej. Proces ten w sposób rekurencyjny powtarza się dla wszystkich danych zależnych od wyjściowej danej. W następnym kroku dla każdej danej zależnej od danej wyjściowej, fladze wskazującej na aktualność danej zostaje przypisana wartość logiczna fałszu. Scenariusz ten został przedstawiony na rysunku 5.4.



Rys. 5.4: Schemat działania podczas rejestrowania faktu subskrypcji

Klasa `SubscriptionManager` musi podjąć również jakąś akcję w przypadku, gdy obiekt klasy `Subscription` zostanie usunięty. Kolekcja tych obiektów zostaje wówczas zaktualizowana. Jeżeli kolekcja ta jest pusta, dana oraz metadana zostają zwolnione, a flagom inicjalizacji oraz aktualności zostaje przypisany fałsz. Jeżeli kolekcja nie jest pusta, wówczas jeśli sytuacja odnosiła się do obiektu klasy `Subscription` utworzonego w celu odczytu dodatkowo zostaje dekrementowany

licznik takich obiektów, zaś w przypadku obiektu klasy `Susbscription` utworzonego w celu zapisu/modyfikacji, fladze wskazującej na istnienie takiego obiektu zostaje przypisany fałsz, a do wszystkich subskrybentów (komponentów posiadających obiekty klasy `Subscription` zdefinowane z odroczonym sposobem dostępu) danej zostaje wysłany sygnał o aktualizacji danej. Scenariusz ten został przedstawiony na rysunku 5.5.



Rys. 5.5: Schemat działania podczas usuwania subskrypcji

Gdy ma miejsce faktyczny dostęp do danych, poprzez obiekt klasy `Lock`, w celu odczytu obiekt klasy `SubscriptionManager` wywołuje metodę `read` klasy `DataEntry`, inkrementuje licznik aktywnych dostępów do danych w celu odczytu oraz zwraca dane pozyskane za pomocą metody. Podczas dostępu w celu zapisu sytuacja jest analogiczna – jedyną różnicą jest fakt przypisania wartości prawdy fladze aktywnego dostępu zamiast inkrementacji licznika.

Gdy faktyczny dostęp w celu odczytu zostaje zakończony wywołana zostaje metoda `endRead` klasy `DataEntry`, a licznik aktywnych dostępów zostaje dekrementowany. W sytuacji zakończenia zapisu wywoływana zostaje metoda `endWrite`, flaga wskazująca na aktywny zapis zostaje ustawiona na fałsz, a flagom wskazującym zainicjalizowanie oraz aktualność danej przypisana jest prawda.

Rozdział 6

Podsumowanie

6.1. Integracja z projektem Gerbil

W skład pierwszej fazy integracji nowego systemu z projektem Gerbil wchodzą 2 etapy:

1. zapewnienie funkcjonalności związanych z reprezentacją obrazów,
2. zapewnienie funkcjonalności związanych z histogramami spektralnymi.

W skład etapu pierwszego wchodzi:

- adaptacja istniejących klas zadań odpowiedzialnych za obliczenia konkretnych reprezentacji obrazów wielospektralnych do nowego interfejsu klasy `Task`,
- adaptacja klasy `ImageModel` do nowego interfejsu klasy `Model`,
- adaptacja widoków wyświetlających reprezentacje obrazów do nowego mechanizmu dostępu do danych współdzielonych.

Na drugi etap składa się:

- zdefiniowanie procesu wykonania dla struktury reprezentującej histogram spektralny,
- adaptacja istniejących klas zadań odpowiedzialnych za obliczenie histogramu spektralnego,
- adaptacja klasy `DistViewModel` do nowego interfejsu klasy `Model`,
- adaptacja widoków prezentujących histogramy spektralne do nowego mechanizmu dostępu do danych współdzielonych,

Efektem tej fazy integracji powinna być aplikacja będąca podzbiorem funkcjonalności oryginalnej aplikacji Gerbil. Jej implementacja powinna być wystarczającym źródłem przykładów, aby zintegrować resztę komponentów projektu z nowym systemem zarządzania danymi oraz procesem wykonania.

Etap pierwszy integracji został zakończony, aktualnie trwają prace nad ukończeniem etapu drugiego.

6.2. Porównanie systemów

Przewagę nowego systemu zarządzania danymi oraz procesem wykonania można wyróżnić na 2 płaszczyznach – dostępu do danych współdzielonych oraz zapewnienia propagacji sygnałów aktualizacji danych.

6.2.1. Dostęp do danych współdzielonych

Bezpieczeństwo dostępu do danych zostało poprawione w nowej wersji systemu.

```
1 SharedDataLock ctxlock(ctx->mutex);
2 limiters.assign((*ctx)->dimensionality, std::make_pair(0,
      ↪ (*ctx)->nbins-1));
```

Listing 6.1: Przykład dostępu do danych według bieżącego systemu

Na listingu 6.1 przedstawiony został sposób dostępu do danych współdzielonych w obecnej architekturze. Z analizy listingu wynika, że przed faktycznym dostępem do danych wykonywane jest zajęcie muteksu skojarzonego z tą daną. Pozostawienie odpowiedzialności synchronizacji dostępu programiście, który chce ich użyć jest zabiegiem niebezpiecznym. Programista może kwestię synchronizacji pominąć, lub o niej zapomnieć. Skutkować to może naruszeniem ochrony pamięci i zakończeniem działania programu.

```
1 Subscription::Lock<multi_img> lock(*sub);
2 multi_img* img = lock();
3 QPixmap pix = QPixmap::fromImage(img->export_qt(1));
```

Listing 6.2: Przykład dostępu do danych według nowego systemu

Na listingu 6.2 został przedstawiony sposób dostępu do danych współdzielonych za pomocą nowego systemu. Z analizy listingu można wywnioskować, że w tym systemie programista, który chce użyć danych nie jest zobowiązany do wykonywania synchronizacji dostępu. Rzecz ta należy do funkcjonalności modelu danych współdzielonych i wykonywana jest automatycznie podczas żądania dostępu.

6.2.2. Propagacja sygnałów aktualizacji danych

Sposób definiowania procesu wykonania danych uległ diametralnej zmianie. Obecny system zarządzania procesem wykonania jest zdecentralizowany. Aby utworzenie danej A było zlecone na skutek obliczenia danej B, model B musi emitować sygnał informujący o obliczeniu danej B, model A posiadać slot w którym zdefiniowana jest reakcja na taki sygnał oraz kontroler (jako element warstwy nadrzędnej) musi ustanowić połączenie pomiędzy danym sygnałem i slotem.

W wyniku tego aby zapewnić odpowiedni proces wykonania w systemie, należy ręcznie ustanowić bardzo wiele połączeń, co zaciemnia kod. Przykład takiego zaciemnienia może stanowić listing 6.3.

```
1 connect(lm, SIGNAL(newLabeling(const cv::Mat1s&, const QVector<QColor>&,
    ↪ bool)), dvc, SLOT(updateLabels(cv::Mat1s,QVector<QColor>,bool)));
2 connect(lm, SIGNAL(partialLabelUpdate(const cv::Mat1s&,const
    ↪ cv::Mat1b&)), dvc, SLOT(updateLabelsPartially(const cv::Mat1s&,const
    ↪ cv::Mat1b&)));
3 connect(dvc, SIGNAL(alterLabelRequested(short,cv::Mat1b,bool)), lm,
    ↪ SLOT(alterLabel(short,cv::Mat1b,bool)));
4 connect(illumm, SIGNAL(newIlluminantCurve(QVector<multi_img::Value>)),
    ↪ dvc, SIGNAL(newIlluminantCurve(QVector<multi_img::Value>)));
5 connect(illumm, SIGNAL(newIlluminantApplied(QVector<multi_img::Value>)),
    ↪ dvc, SIGNAL(newIlluminantApplied(QVector<multi_img::Value>)));
```

Listing 6.3: Przykład definiowania procesu wykonania według starego systemu

W nowym systemie definiowana procesu wykonania problem ten nie istnieje. Proces wykonania jest definiowany przez deklaracje danych współdzielonych i ich zależności, natomiast klasa `SubscriptionManager` zapewnia funkcjonalność informowania modeli o potrzebie utworzenia zadania przetwarzającego dane. W związku z tym w nowej architekturze systemu nie istnieje potrzeba aby ręcznie zarządzać procesem przetworzenia danych.

6.3. Dalsze kierunki rozwoju systemu

Do dalszych kierunków rozwoju należy:

- dalsza integracja z projektem Gerbil,
- zapewnienie możliwości anulowania zadania które zostało uruchomione.

Literatura

[1] *Analiza głównych składowych* https://pl.wikipedia.org/wiki/Analiza_g%C5%82%C3%B3wnych_sk%C5%82adowych (dostęp 23.11.2016).

[2] Bjarne Stroustrup, *Język C++. Kompendium wiedzy*. Wydawnictwo Helion, Gliwice, Wydanie IV, 2014.

[3] *Krótki opis języka C++* http://www.cplusplus.com/info/description (dostęp 31.10.2016).

[4] *ISO/IEC 14882:2011* http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=50372 (dostęp 23.11.2016).

[5] *Dokumentacja Qt 5.7* http://doc.qt.io/qt-5/index.html (dostęp 30.10.2016).

[6] *Oficjalna strona Boost* http://www.boost.org/ (dostęp 30.10.2016).

[7] *Oficjalna strona Threading Building Blocks* https://www.threadingbuildingblocks.org/ (dostęp 31.10.2016).

[8] *Oficjalna strona OpenCV* http://opencv.org/about.html (dostęp 31.10.2016).