

Artur Nowicki  0000-0003-3801-8137

Maciej Janecki  0000-0002-8784-2862

Dawid Dybowski  0000-0001-6878-8250

Lidia Dzierzbicka-Głowacka  0000-0001-6151-2390

INSTYTUT OCEANOLOGII POLSKIEJ AKADEMII NAUK W SOPOCIE

adres e-mail do korespondencji: anowicki@iopan.pl

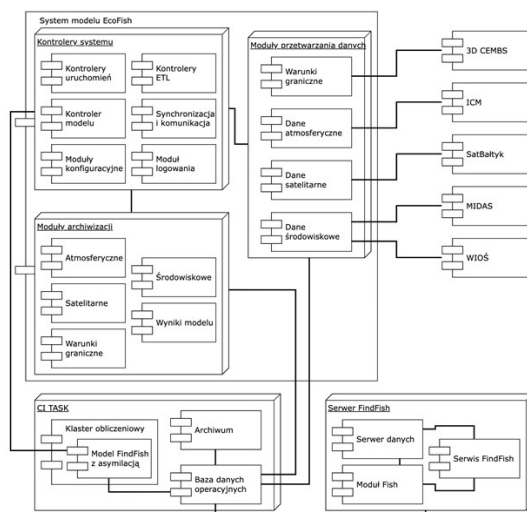
DOI: 10.26408/FindFISH-10

10. AUTOMATYCZNY SYSTEM KONTROLI MODELU ECOFISH W TRYBIE OPERACYJNYM

WPROWADZENIE

Model EcoFish to model numeryczny Zatoki Gdańskiej opracowany na potrzeby projektu „Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa”. Został on wykorzystany w ramach projektu FindFISH (Dzierzbicka-Głowacka i in., 2018) jako podstawa platformy dostarczającej rybakom i naukowcom aktualnych oraz prognozowanych warunków hydrodynamicznych, chemicznych i biologicznych Zatoki Gdańskiej oraz prognoz określających czasowe i przestrzenne występowanie warunków najkorzystniejszych dla bytowania ryb z gatunków poławianych przemysłowo w rejonie Południowego Bałtyku. Model EcoFish składa się z kilku modułów: hydrodynamicznego, biochemicznego, danych dopływów rzecznych, danych atmosferycznych, obliczeń warunków siedliskowych dla ryb oraz modułów asymilacji danych z kilku źródeł (Janecki, Dybowski, Nowicki, Jakacki, Dzierzbicka-Głowacka, 2023; Janecki, Dybowski, Nowicki, Dzierzbicka-Głowacka, 2023; Nowicki, Janecki, Dzierzbicka-Głowacka, 2023). Ponadto system zarządzający modelem w trybie operacyjnym składa się z modułów odpowiedzialnych za pozyskiwanie i przygotowanie danych wejściowych do modelu, obsługę i kontrolę operacyjności oraz modułów archiwizujących dane. Jako informacje wejściowe model wykorzystuje dane z różnych źródeł, m.in.: dane atmosferyczne z modelu Universal Model z Interdyscyplinarnego Centrum Modelowania Matematycznego (ICM) (Herman-Iżycki i in., 2002), warunki brzegowe na granicę z modelu 3D CEMBS (Dzierzbicka-Głowacka i in., 2013a, 2013b), pomiary satelitarne z projektu SatBałtyk (Woźniak i in., 2011a, 2011b)

oraz pomiary środowiskowe pochodzące np. z sond Midas umieszczonych na statkach rybackich w ramach projektu FindFISH (Krzemień i in., 2023). System kontroli modelu EcoFish w trybie operacyjnym jest niezbędnym elementem projektu FindFISH, umożliwiającym zautomatyzowanie pracy modelu oraz ułatwiającym zarządzanie i monitorowanie modelu EcoFish i współpracujących z nim modułów. System ten składa się z wielu komponentów, które można podzielić na trzy kategorie, odpowiedzialnych za różne aspekty jego pracy. Pierwsza kategoria to komponenty kontrolujące pracę całego systemu w trybie operacyjnym. Są to kontrolery uruchomień poszczególnych modułów obsługi danych oraz modelu EcoFish, moduły konfiguracyjne, moduły odpowiedzialne za synchronizację i komunikację pomiędzy komponentami oraz moduł logowania. Dane z różnych źródeł, oraz różne zmienne z tego samego źródła często muszą zostać poddane różnym procesom przetwarzania, np. interpolacji, filtrowaniu, rotacji itp., zanim mogą zostać wykorzystane przez model. Druga kategoria to komponenty odpowiedzialne właśnie za przetwarzanie danych takich, jak dane atmosferyczne, dane na granicę oraz dane do asymilacji. Ostatnia, trzecia kategoria to moduły odpowiedzialne za archiwizację przetworzonych danych wejściowych i wyników modelu. Wykorzystane już dane historyczne po upływie odpowiedniego czasu przesyłane są do archiwum. Niektóre z nich, w zależności od typu, są dodatkowo poddawane konwersji lub kompresji w celu oszczędności przestrzeni dyskowej. Na rys. 10.1 przedstawiono komponenty wchodzące w skład systemu EcoFish wraz z najważniejszymi systemami zewnętrznymi, z którymi się on komunikuje. W kolejnych podrozdziałach opisano działanie wymienionych elementów systemu.



Rys. 10.1. Komponenty wchodzące w skład systemu EcoFish

Źródło: opracowanie własne IO PAN.

10.1. MODUŁ KONTROLUJĄCY PRACĘ SYSTEMU W TRYBIE OPERACYJNYM

Moduł koordynujący pracę modelu EcoFish w trybie operacyjnym składa się z kilku komponentów. Każdy z komponentów jest odpowiedzialny za uruchamianie i kontrolę modułów wykorzystywanych w kolejnych etapach przetwarzania i archiwizacji danych z poszczególnych źródeł. Dodatkowo jeden z komponentów odpowiada za uruchomienie i kontrolę modelu EcoFish. Ponadto system operacyjny, jak również wszystkie moduły przetwarzania danych korzystają ze wspólnych komponentów odpowiedzialnych za synchronizację i komunikację pomiędzy elementami systemu oraz komponentu służącego do zapisu logów umożliwiających administratorowi monitorowanie pracy systemu. Wyjątkiem jest tutaj sam model EcoFish, który posiada własny wbudowany system logowania. W kolejnych podrozdziałach opisano poszczególne elementy modułu.

10.1.1. Kontroler uruchomień

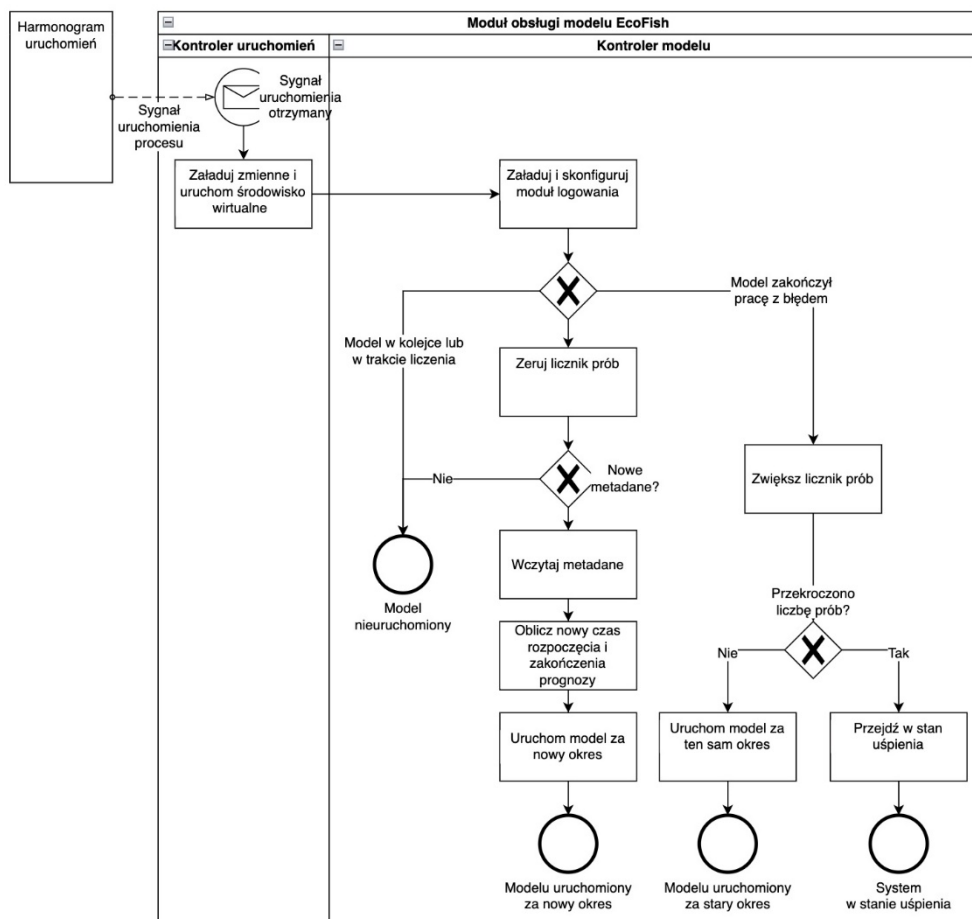
Kontrolery uruchomień w systemie zarządzającym pracą modelu EcoFish to cała klasa niewielkich i bardzo istotnych komponentów odpowiedzialnych za poprawną konfigurację zmiennych środowiskowych, uruchomienie środowiska wirtualnego oraz uruchomienie poszczególnych modułów obsługi danych lub kontrolera modelu EcoFish. W zależności od rodzaju zadań wykonywanych przez uruchamiane moduły kontrolery zostały podzielone na dwa typy. Pierwszy typ kontrolerów obsługuje moduły wykonujące skomplikowane zadania typu ETL (*extract, transform and load*) polegające na przetwarzaniu danych. Są to zadania wymagające dużej mocy obliczeniowej i często czerpiące duże korzyści z możliwości równoległego przetwarzania kilku strumieni danych na wielu procesorach jednocześnie. Tego typu kontrolery wykorzystują do uruchomienia środowisk wirtualnych i modułów ETL system kolejkowania SLURM (Yoo i in., 2003). Jest to menedżer zasobów systemowych dostępny na maszynach z systemami operacyjnymi z rodziny UNIX, skonfigurowany na klastrze komputerowym, na którym dokonywane są obliczenia. W związku z tym każdy taki kontroler musi w pierwszej kolejności załadować odpowiednie zmienne środowiskowe oraz parametry konfiguracyjne dla zadań dodawanych do kolejki SLURM. Najważniejsze z parametrów używane w obecnej konfiguracji to: typ kolejki, typ rezerwacji, maksymalny czas rezerwacji oraz liczba wykorzystywanych węzłów obliczeniowych. Drugi typ kontrolerów obsługuje mniejsze zadania, niewymagające dużej mocy obliczeniowej, odpowiedzialne za nasłuchiwanie i przesyłanie danych. Tego typu kontrolery działają niemal identycznie jak kontrolery typu pierwszego, jednak nie wykorzystują systemu SLURM.

10.1.2. Kontroler modelu EcoFish

Kontroler modelu EcoFish jest odpowiedzialny za wszystkie czynności związane z ustaleniem aktualnego stanu modelu, zebranie informacji na temat dostępnych nowych danych wejściowych, ustalenie na tej podstawie parametrów uruchomieniowych modelu oraz uruchomienie modelu. Model EcoFish bazuje na modelu CESM (Community Earth System Model). Jego działanie jest w dużej mierze obsługiwane przez skrypty dostarczone razem z CESM i monitorowane przez wewnętrzne moduły logowania. Narzędzia te pozwalają na szczegółową konfigurację parametrów uruchomieniowych modelu oraz dokładne śledzenie logów opisujących każdy krok pracy poszczególnych komponentów modelu, skupiają się jednak na pojedynczych uruchomieniach modelu i jego wewnętrznych obliczeniach. W przypadku wykorzystania modelu w trybie operacyjnym konieczna była integracja tych narzędzi z systemem stworzonym w ramach projektu FindFISH. Komunikacja między modelem a systemem odbywa się dwukierunkowo. Z jednej strony konieczna była modyfikacja istniejących skryptów CESM, tak aby mogły dostarczać dodatkowych informacji niezbędnych do poprawnej komunikacji z kontrolerem modelu w trybie operacyjnym. Z drugiej strony kontroler musiał zostać zaprojektowany tak, by mógł przysyłać niezbędne informacje i automatycznie konfigurować model CESM, wykorzystując jego wewnętrzne narzędzia.

Kontroler modelu startuje w regularnych interwałach czasowych zgodnie z harmonogramem uruchomień. Podobnie jak inne programy wchodzące w skład systemu, w pierwszej kolejności uruchamia on moduł logowania, tak aby wszystkie jego kroki można było w razie konieczności prześledzić. Następnie sprawdzany jest status modelu wskazujący, czy model oczekuje w kolejce SLURM, czy jest w trakcie obliczeń, czy poprawnie zakończył obliczenia lub czy wystąpił jakiś błąd, który przerwał obliczenia. Podstawowym stanem jest stan zakończenia wcześniejszych obliczeń sukcesem. Oznacza to, że model działa poprawnie, zakończył obliczenia i jest gotowy do ponownego uruchomienia. W takim przypadku kontroler wczytuje metadane dla danych wejściowych ze wszystkich możliwych źródeł i na ich podstawie ustala zakres dat nowej prognozy modelu. Niektóre typy danych wejściowych są konieczne do obliczenia prognoz, np. dane atmosferyczne i dane na granicę. Inne, takie jak dane satelitarne lub środowiskowe, są opcjonalne. Prognoza może być obliczona z nimi lub bez nich. Ten podział jest istotny przy ustalaniu nowego czasu przebiegu modelu, a obsługująca go logika stanowi integralną część kontrolera modelu. Jeśli zakres nowych dat jest taki jak dla poprzedniej prognozy lub, w przypadku gdy nie pojawiły się nowe dane, nie jest możliwy do obliczenia, kontroler kończy działanie. Jeśli zakres dat jest nowszy niż ten z poprzedniej prognozy, kontroler aktualizuje pliki konfiguracyjne modelu i dodaje go do kolejki SLURM. Model przechodzi wtedy do statusu oczekiwania w kolejce, a następnie

do wykonywania obliczeń. Jeśli w momencie uruchomienia kontrolera model już znajduje się w kolejce lub jest w trakcie obliczeń, kontroler kończy działanie. Jeśli model zakończył działanie sukcesem, cały cykl zaczyna się od nowa. W przypadku wystąpienia błędu kontroler próbuje uruchomić model po raz kolejny dla tego samego zakresu dat prognozy. Próba taka jest podejmowana z góry zadaną liczbę razy. Jeśli po tej liczbie prób model nadal zwraca błąd, kontroler przechodzi w stan uśpienia do momentu rozwiązania problemu przez administratora i ręcznego przywrócenia operacyjności systemu. Na rys. 10.2 przedstawiono proces uruchamiania modelu EcoFish.



Rys. 10.2. Proces uruchamiania modelu EcoFish

Źródło: opracowanie własne IO PAN.

10.1.3. Synchronizacja komponentów systemu

Praca poszczególnych modułów musi być zsynchronizowana z pozostałymi modułami. Rolę synchronizatora pełni harmonogram uruchomień. Jest to oparty na czasie program komputerowy do harmonogramowania zadań uruchamianych na danej maszynie. W tym przypadku wykorzystano program Cron, dostępny na maszynach z systemami operacyjnymi z rodziny UNIX. Cron może być użyty do uruchamiania zadań (programów, komend, skryptów) w określonych godzinach, datach albo regularnie, zgodnie z określonym interwałem. Reguły czasowe, według których Cron ma uruchamiać poszczególne procesy, zapisuje się w pliku konfiguracyjnym. Każdemu komponentowi modułów przetwarzania danych oraz obsługi modelu odpowiada osobny wpis w pliku konfiguracyjnym. Czas uruchamiania poszczególnych procesów jest dostosowany do specyfiki danego modułu. Przykładowo dane ICM pojawiają się cztery razy dziennie, jednak godziny ich dostarczenia mogą się nieznacznie różnić. Dlatego moduł nasłuchujący pojawienia się nowych danych jest uruchamiany co godzinę. Z kolei dane satelitarne pojawiają się raz dziennie, zazwyczaj w okolicach południa. Z tego względu program nasłuchujący ich pojawienia się jest uruchamiany raz dziennie, po południu. Proces zarządzający uruchamianiem modelu EcoFish jest inicjowany co godzinę. Podobne konfiguracje są zapisane dla wszystkich modułów kontrolowanych przez system. Nie są one jednak ustalone na stałe, gdyż zależą od czasu wykonywania poszczególnych operacji, który może się zmieniać z uwagi na zmianę wydajności maszyny, na której są przeprowadzane, zmiany w implementacji kodu, które zwiększają jego wydajność, lub dodanie kolejnych kroków, np. polepszających jakość danych kosztem czasu obliczeń. W przypadku niektórych procesów, w których kolejne kroki są ze sobą ściśle powiązane, kolejny krok uruchamiany jest w momencie zakończenia poprzedniego, zamiast na podstawie zadanego interwału czasowego.

Poza synchronizacją czasów uruchomień poszczególnych modułów konieczne jest też zapewnienie komunikacji pomiędzy tymi modułami, zwłaszcza w przypadkach gdy są one od siebie zależne, czyli odpowiadają za kolejne etapy przetwarzania tych samych danych. Komunikacja pomiędzy modułami odbywa się poprzez dwa kanały informacji: pliki metadanych oraz kolejki zawierające listę plików do przetworzenia.

Pliki metadanych zawierają informację na temat źródła oraz zakresu czasowego przetwarzanych danych. Dane wejściowe dostarczane są z zewnętrznych źródeł, dlatego ich nazewnictwo i formaty nie są ustandaryzowane. W zależności od źródła danych czas, jaki obejmują dane znajdujące się w jednym pliku, może być rozpoznany na podstawie nazwy lub zawartości plików. W niektórych przypadkach w jednym pliku znajdują się dane z jednej godziny, w innych – z całego dnia, z kilku dni lub nawet z całego roku. Przetworzone już dane wejściowe wykorzystywane

przez różne grupy modułów modelu EcoFish również wymagają różnych formatów i standardów nazewnictwa. Wynika to ze sposobu skonfigurowania modelu EcoFish. Dlatego też konieczne było dodanie ustandaryzowanych plików czasu, tak aby różne komponenty przetwarzania danych oraz kontroler uruchamiający model mogły korzystać ze wspólnych bibliotek do obsługi czasu, napisanych na potrzeby systemu. Pliki metadanych dla każdego komponentu wyglądają tak samo i zawierają informacje na temat źródła danych oraz czas startu i końca przetworzonej serii danych. W momencie pojawienia się danych wejściowych z dowolnego źródła bądź też danych wynikowych modelu odpowiedni obsługujący je komponent sprawdza oraz zapisuje do pliku powyższy zestaw informacji w formacie JSON. Ważne jest też zwrócenie uwagi na fakt, że w danym momencie funkcjonowania systemu dane pojawiające się z różnych źródeł mogą dotyczyć zupełnie innego przedziału czasowego. Przykładowo dane atmosferyczne to prognozy obejmujące kilkadziesiąt godzin w przyszłości, z kolei dane z satelit to chwilowe mapy zapisane na konkretną godzinę, zazwyczaj sprzed jednego lub kilku dni. Dzięki zunifikowanym plikom czasu kontroler modelu EcoFish może w łatwy i spójny sposób ustalać wynikający z tych informacji zakres czasowy prognoz modelu. Również tworzone przez system logi zawierające informacje o aktualnych zakresach czasowych prognoz są dzięki temu spójne i łatwiejsze do śledzenia przez administratora systemu.

Drugim kanałem wymiany informacji pomiędzy komponentami działającymi w trybie operacyjnym są kolejki plików. Jak już wcześniej wspomniano, dane z różnych źródeł cechują się różnymi standardami nazewnictwa oraz przechowywania danych. W zawiązku z tym przy użyciu tylko plików z zakresem czasowym nie jest możliwe stworzenie spójnej metody identyfikacji plików, które powinny zostać przetworzone. Dlatego konieczne było dodanie kolejek zawierających nazwy plików do przetworzenia przez dany moduł dla danego zakresu czasowego. Każdy moduł posiada kolejkę wejściową, wyjściową oraz kolejkę błędów. Kolejka wejściowa zawiera nazwy plików gotowych do przetworzenia przy kolejnym uruchomieniu modułu. Jest ona tworzona przez moduł sprawdzający pojawienie się nowych danych lub moduł wykonujący poprzedni krok w procesie przetwarzania. Kolejka wyjściowa z nazwami plików już przetworzonych zapobiega ponownemu przetwarzaniu tych samych danych oraz w razie potrzeby pozwala administratorowi śledzić listę przetworzonych plików. Kolejka błędów zawiera nazwy plików, które nie zostały przetworzone z powodu błędów. Dzięki niej w razie wystąpienia błędów wiadomo, które pliki trzeba będzie przetworzyć ponownie po usunięciu usterki. Opisany tutaj spójny system kolejek umożliwia również wykorzystanie przez wszystkie moduły przetwarzania danych wspólnego komponentu obsługującego te kolejki. W celu ułatwienia przeglądania zawartości tych kolejek bez potrzeby wykorzystywania specjalnych narzędzi na zewnątrz systemu są one reprezentowane jako pliki tekstowe, jednak wewnątrz systemu wczytywane z nich listy plików

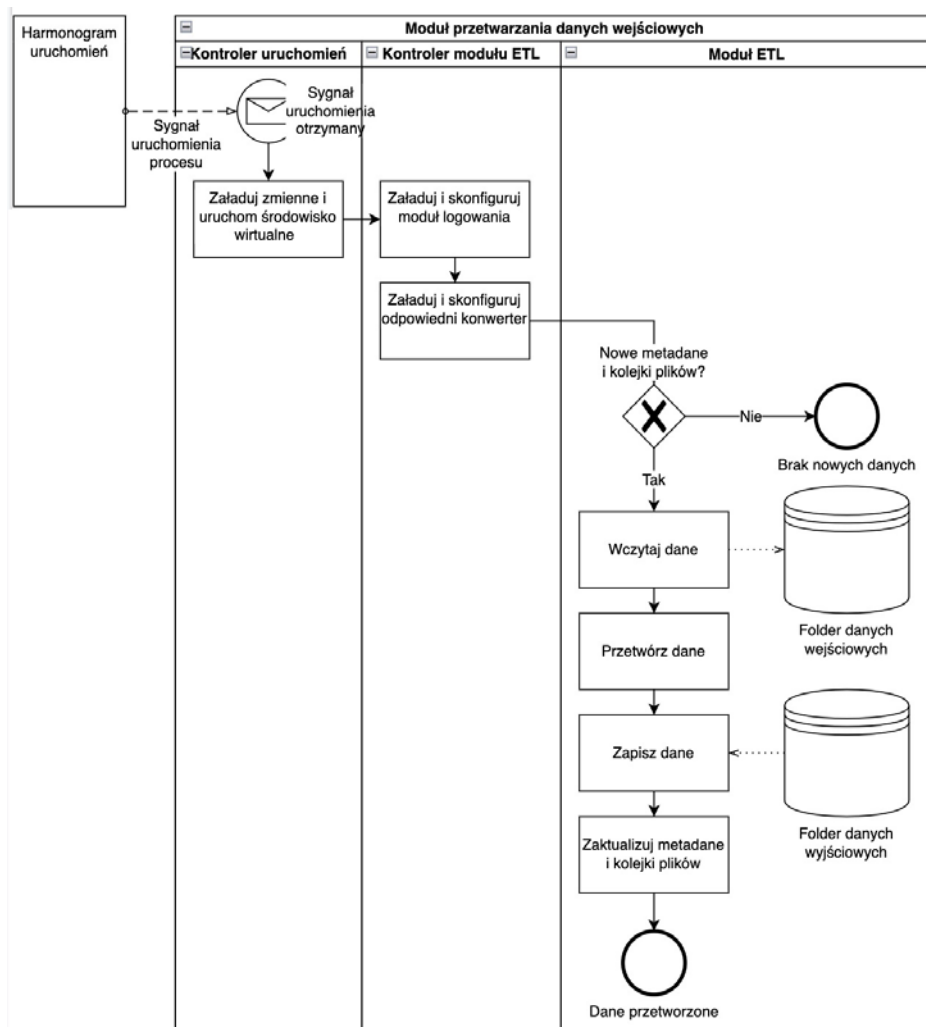
są wieloprocessorowymi równoległymi kolejkami. Ponieważ prawie żadna z operacji wykonywanych na przetwarzanych zmiennych nie wymaga informacji z pozostałych plików, każdy plik może być przetwarzany niezależnie, co w połączeniu z zastosowaniem wieloprocessorowych kolejek i uruchamianiem zadań na wielu procesorach poprzez system SLURM umożliwia równoległe przetwarzanie wielu plików jednocześnie, niezależnie od źródła, formatu czy też rodzaju transformacji.

10.1.4. Moduł logowania

Moduł logowania jest komponentem wspólnym, wykorzystywanym w każdym programie wchodzącym w skład systemu operacyjnego. Moduł ten jest odpowiedzialny za konfigurację parametrów logowania informacji, takich jak poziom dokładności logowania, nazwy plików, do których logi powinny być zapisane, oraz format tych logów. Wraz z rozpoczęciem pracy któregośkolwiek z komponentów systemu moduł logowania jest uruchamiany i konfigurowany. Dzięki temu w trakcie działania danego komponentu możliwy jest zapis przebiegu procesu obsługiwanego przez ten komponent, a także zapis informacji o ewentualnych błędach lub o poprawnym zakończeniu procesu. W trakcie pisania poszczególnych komponentów zapewniona została wysoka dokładność logowanych informacji, która pozwala na łatwe administrowanie systemem i diagnozowanie przyczyn ewentualnych błędów. Logi systemowe przechowywane są w oddzielnym folderze, a każdy moduł systemu ma przypisany oddzielny plik z logami, dzięki czemu administrator może w łatwy sposób odnaleźć interesujące go informacje. Nazwy plików z logami są jednoznacznie powiązane z nazwami poszczególnych modułów, co umożliwia ich łatwe rozpoznanie. Daty ostatnich aktualizacji zawarte w logach dają obraz, czy wszystkie moduły uruchamiają się na bieżąco. Trzeba tu zaznaczyć, że niektóre źródła danych, np. te z sond ze statków rybackich, dostarczane są raz na kilka miesięcy i czasami wymagają wcześniejszej ręcznej obróbki. W związku z tym przetwarzające je moduły nie są uruchamiane automatycznie, tylko ręcznie, w zależności od potrzeby, więc i logi tych modułów nie zawsze muszą mieć aktualne daty. Wgląd w zawartość danego pliku z logami dostarcza większej ilości szczegółowych informacji na temat aktualnego statusu danego komponentu oraz historii jego pracy. Każdy wpis, poza datą i godziną powstania, zaopatrzony jest też w poziom dokładności, nazwę programu, z którego pochodzi, linię kodu, w której został wywołany w danym programie, nazwę procesu oraz wiadomość do użytkownika. Taki format informacji daje możliwość bardzo dokładnego śledzenia pracy systemu.

10.2. PRZETWARZANIE DANYCH WEJŚCIOWYCH

Pracę każdego z modułów przetwarzania danych wejściowych można opisać przy pomocy procesu przedstawionego na rys. 10.3. Zgodnie ze zdefiniowanym harmonogramem uruchomień uruchamiany jest kontroler, który ładuje zmienne środowiskowe, uruchamia środowisko wirtualne, a następnie uruchamia kontroler modułu przetwarzania danych ETL.



Rys. 10.3. Proces przetwarzania danych wejściowych w systemie FindFISH

Źródło: opracowanie własne IO PAN.

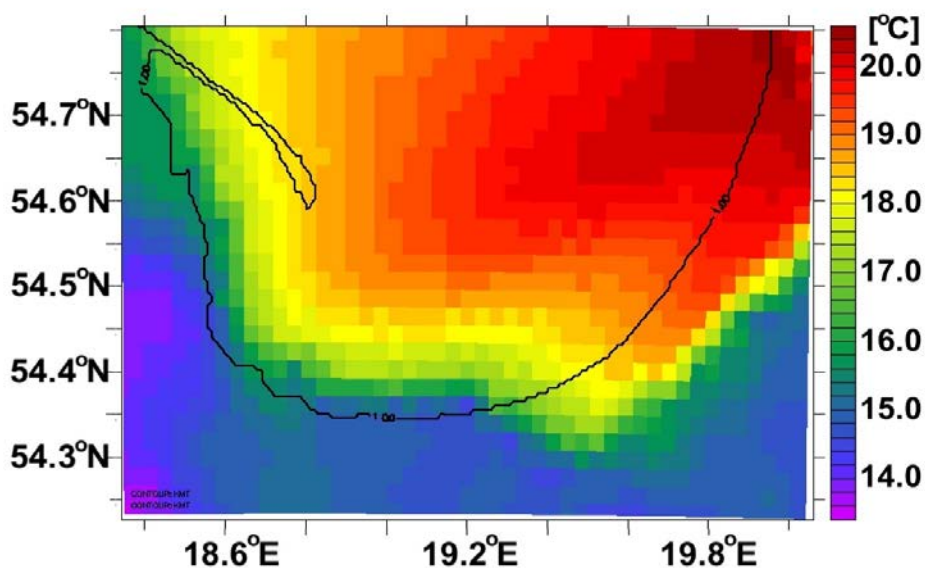
10.2.1. Dane wymuszające na granicę

Jak widać na rys. 6.1, domena obliczeń w projekcie FindFISH graniczy od zachodu i północy z otwartym Bałtykiem. Stwarza to konieczność dostarczenia do modelu EcoFish warunków brzegowych na ich granicach. W przypadku procesów hydrodynamicznych potrzebne są wartości temperatury i zasolenia zarówno na powierzchni, jak i w całej kolumnie pionowej wody oraz wysokość powierzchni morza. Obliczenie wyników biochemicznych wymaga dodatkowo danych dotyczących rozpuszczonych w wodzie tlenu, amoniaku, azotanów, fosforanów i krzemianów. Dane na granicę modelu dostarczane są z modelu 3D CEMBS w plikach formatu NetCDF (Rew i Davis, 1990), wykorzystywanych powszechnie w tego typu obliczeniach modelowych. Ponieważ dokładne ustalenie zasięgu danych na granicy w głąb modelu wymagało prób z różnymi ustawieniami, przygotowane dane obejmują całą domenę modelu EcoFish, nie tylko okolice jej granicy. Umożliwia to wykorzystanie tych samych danych w razie zmiany wybranych ustawień. Zasięg oraz siła oddziaływania danych na granicy są kontrolowane przez plik z maską zawierającą wartości rzeczywiste z zakresu $\langle 0,1 \rangle$. Im niższa wartość, tym mniejszy wpływ danych z modelu 3D CEMBS. Wszystkie parametry brzegowe poddawane są kilku transformacjom, zanim mogą zostać wykorzystane przez model EcoFish. Model 3D CEMBS operuje na siatce o rozdzielczości około 2 km, z kolei FindFISH – na siatce 575 m. Wyższa rozdzielczość oznacza lepsze odwzorowanie batymetrii oraz linii brzegowej, co może doprowadzić do sytuacji, że w danym miejscu, gdzie model FindFISH wskazuje wodę, model 3D CEMBS wskazuje ląd lub dno. Aby uniknąć braku danych w takich miejscach, wyniki 3D CEMBS są przy pomocy solwera Poissona rozlewane na całą domenę, pokrywając również punkty, gdzie powinien być ląd lub dno. Następnie dane są interpolowane na siatkę modelu EcoFish oraz zapisywane do plików binarnych. Moduł, kończąc działanie, zapisuje metadane przetworzonych danych i usuwa przetworzone pliki z kolejki.

10.2.2. Dane atmosferyczne

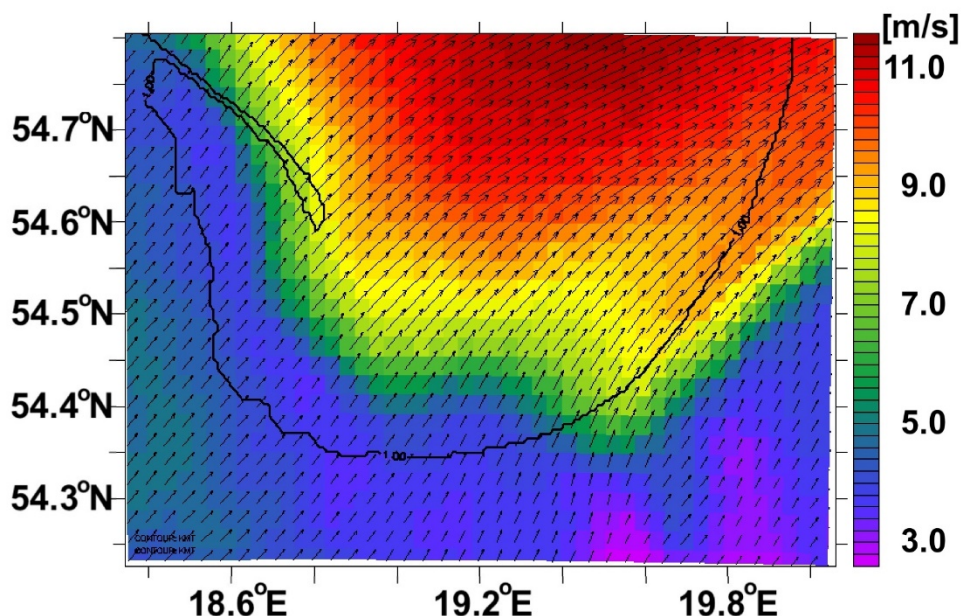
Podobnie jak na granicy domeny systemu FindFISH z resztą Bałtyku, tak i na granicy morza z atmosferą konieczne jest dostarczenie warunków brzegowych, działających jako siły wymuszające. Do tego celu postanowiono wykorzystać wyniki obliczeń modelu meteorologicznego UM (Unified Model) rozwijanego w ICM UW. Model ten dostarcza prognozy meteorologiczne cztery razy dziennie w równych odstępach czasowych. Dane z ICM dostarczane są w postaci trzech paczek zawierających różne zestawy parametrów. Lista tych parametrów obejmuje m.in.: składowe wiatru na wysokości 10 m, temperaturę,

wilgotność właściwą, temperaturę punktu rosy na wysokości 1,5 m, ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza, informacje dotyczące opadów deszczu i śniegu oraz składowe krótko- i długofalowe promieniowania odgórne. Wyniki te są przetwarzane przez moduł danych meteorologicznych, który na podstawie otrzymanych zmiennych wylicza brakujące parametry, niezbędne do uruchomienia modelu hydrodynamicznego oraz biochemicznego. Są to gęstość powietrza oraz frakcje krótkofalowego promieniowania rozproszonego i bezpośredniego z zakresu fal widzialnych i bliskiej podczerwieni. Dane te są następnie interpolowane na siatkę modelu FindFISH. Wartości wektorowe są obracane z siatki modelu meteorologicznego. Gotowe dane są zapisywane w plikach NetCDF z godziną rozdzielczością czasową. Każdy plik NetCDF zawiera dane z 24 godzin dla wszystkich wymienionych wcześniej parametrów meteorologicznych. Model wymaga do uruchomienia pełnego zestawu plików, na których ma prowadzić obliczenia. W związku z tym przygotowano listę 365 plików dziennych obejmujących jeden rok obliczeń. W trybie operacyjnym lista plików pozostaje stała, natomiast ich zawartość jest aktualizowana na bieżąco najnowszymi prognozami, dane historyczne są zaś archiwizowane. Na rys. 10.4 i 10.5 przedstawiono przykładowe wyniki dla temperatury powietrza oraz prędkości i kierunków wiatrów na siatce modelu EcoFish uzyskane przy pomocy opisanego modułu.



Rys. 10.4. Przykładowa mapa temperatury z modelu ICM na wysokości 2 m

Źródło: opracowanie własne IO PAN.



Rys. 10.5. Przykładowa mapa wiatrów z modelu ICM na wysokości 10 m

Źródło: opracowanie własne IO PAN.

10.2.3. Dane do asymilacji

Dane wykorzystywane do asymilacji w modelu EcoFish można podzielić na dwie grupy: satelitarne oraz środowiskowe. Dane z każdej z tych grup obejmują inny zestaw parametrów, są też pozyskiwane, przetwarzane oraz wykorzystywane w odmienny sposób. Każda asymilowana zmienna otrzymana dla danego dnia pomiarowego przechowywana jest w oddzielnym pliku. Jeśli na przykład mieliśmy dane pomiarowe 5 dowolnych parametrów mierzonych przez boję pomiarową w ciągu 10 dni, to będą one przechowywane w 50 plikach. Dane na granicę oraz dane atmosferyczne są dostępne zawsze w każdym punkcie domeny modelu. Inaczej jest w przypadku danych do asymilacji. Ich dostępność zależy od różnych czynników. W przypadku danych satelitarnych możliwy jest ich brak w przypadku dużego zachmurzenia, awarii satelit itp. Pomiary środowiskowe mają charakter lokalny, więc przez większość dni i na większości obszaru nie będą one dostępne. W związku z tym poza plikami z samymi danymi konieczne jest też przygotowanie plików z maską, dzięki którym model wie, w których miejscach siatki znajdują się dane.

Dane satelitarne wykorzystywane w projekcie FindFISH pochodzą z bazy danych projektu SatBałtyk i bazują na pomiarach pochodzących ze spektrometru obrazującego średniej rozdzielczości (MODIS-Aqua) oraz zaawansowanego radiometru o bardzo dużej rozdzielczości (AVHRR). Są to dane dotyczące temperatury powierzchni morza oraz stężenia chlorofilu *a*. Dane te są skalibrowane do lokalnych warunków panujących w rejonie Bałtyku i poddane odpowiedniej korekcji atmosferycznej i filtracji. Przetworzenie map do wartości temperatury oraz stężenia chlorofilu *a* z uwzględnieniem specyfiki Morza Bałtyckiego jest zapewniane przez serwis SatBałtyk (Woźniak i in., 2008). Dane w systemie SatBałtyk mają rozdzielczość poziomą 1 km i obejmują cały obszar Morza Bałtyckiego. W związku z tym po otrzymaniu nowych danych system zawęża je do obszaru Zatoki Gdańskiej oraz interpoluje na siatkę o rozdzielczości 575 m wykorzystywaną w projekcie FindFISH. Do asymilacji wykorzystywane są średnie wartości dzienne uzyskane z połączenia wszystkich dostępnych danego dnia zdjęć satelitarnych. Asymilacja odbywa się codziennie w 24-godzinny oknie asymilacyjnym, którego środek przypada na godzinę 12.00. Jest to uwzględniane podczas procesu łączenia danych w jedną całość poprzez zastosowanie odpowiednich wag uwzględniających różnicę czasu pomiarów satelitarnych względem godziny 12.00. Moduł zarządzający pozyskiwaniem danych automatycznie wykrywa obecność nowych danych, pobiera je z serwera SatBałtyk, następnie przetwarza oraz zapisuje w plikach binarnych. Dodatkowo system zapisuje metadane przetworzonych plików. Przetwarzanie danych polega przede wszystkim na ich interpolacji na siatkę modelu oraz odfiltrowaniu wartości poniżej 5. i powyżej 95. percentyla w celu eliminacji błędnych danych. W przypadku chlorofilu *a* dane otrzymane z pomiarów satelitarnych stanowią sumaryczną koncentrację tego parametru. Model wyraża całkowitą wartość chlorofilu *a* w postaci koncentracji tego składnika w poszczególnych grupach fitoplanktonu: okrzemki, wiciowce, sinice. W związku z tym wyniki satelitarne są przed asymilacją proporcjonalnie rozdzielane na te składowe. Proporcje poszczególnych składowych są wyznaczane na podstawie wcześniejszych wyników modelu. W odniesieniu do tych samych trzech grup fitoplanktonu wyrażana jest też w modelu koncentracja węgla. Wykorzystując proporcje stężenia chlorofilu *a* do stężenia węgla w tych grupach oraz proporcje pomiędzy grupami, można użyć danych satelitarnych dotyczących stężenia chlorofilu *a* do asymilacji stężeń węgla.

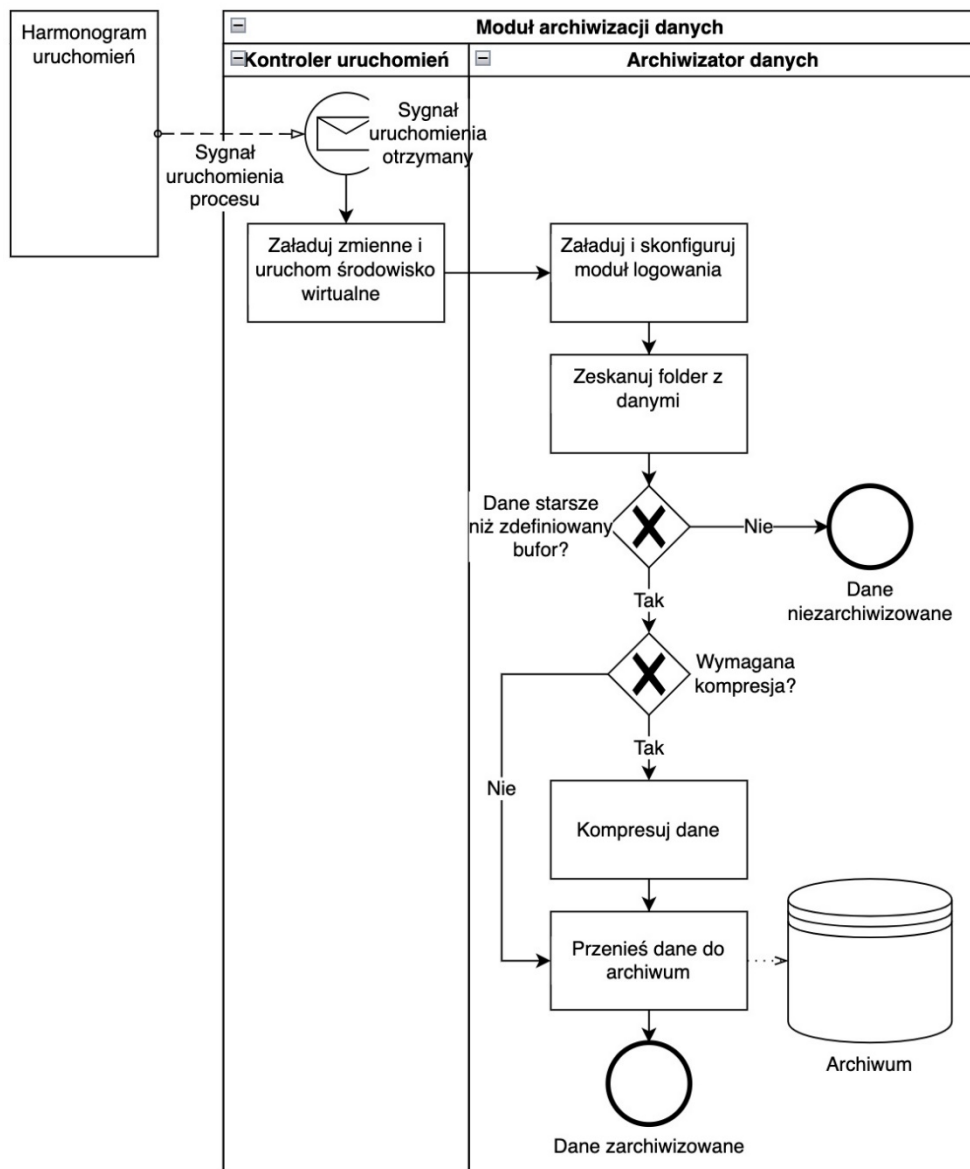
Dane środowiskowe wykorzystane w projekcie FindFISH pochodzą z pomiarów wykonanych w ramach projektu w czasie połowów rybackich przy pomocy sondy Midas oraz z bazy danych WIOŚ. Zestaw danych środowiskowych obejmuje temperaturę, stężenia tlenu i biogenów. Surowe dane z sond ze statków rybackich, jak również z pomiarów wykonanych przez WIOŚ dostarczane są w formie pliku CSV raz lub kilka razy w roku i obejmują dane pomiarowe z całego poprzedniego okresu. Plik z danymi każdego roku może mieć nieco inną strukturę, dlatego

w pierwszym kroku istnieje konieczność jego manualnej inspekcji oraz modyfikacji do z góry zadanej struktury. Pliki CSV zajmują stosunkowo niewiele miejsca i dobrze nadają się do przechowywania tego typu pomiarów. Każdy pomiar, poza wartością zmierzonego parametru, musi również zawierać datę oraz godzinę pomiaru, a także miejsce dokonania pomiaru zapisane w postaci współrzędnych geograficznych i głębokość, na której dokonano pomiaru. Moduł asymilacji wymaga dostarczenia pliku z danymi raz dziennie, w związku z tym pliki wejściowe też muszą zawierać jedną mapę pomiarów dziennie. W przypadku danych z WIOŚ mamy do czynienia z pomiarami punktowymi. W przypadku danych z sond pomiaru wykonywane są w sposób ciągły w trakcie całego rejsu. Czasami w ciągu jednego dnia dostępne są dane z więcej niż jednego rejsu. W związku z tym istnieje konieczność ich pogrupowania i uśrednienia dla poszczególnych dni. Rozdzielczość czasowa pomiarów z sond wynosi 1 s, co sprawia, że liczba pomiarów w serii jest bardzo duża. W zależności od liczby rejsów w danym miesiącu liczba punktów pomiarowych sięga nawet pół miliona. Jako że dane pomiarowe nie są osadzone na żadnej siatce i nie ma żadnych stałych tras, zastosowanie wydajnych algorytmów interpolacji na siatkę modelu nie jest możliwe, a przetworzenie wszystkich danych historycznych według wstępnych szacunków trwałoby kilka tygodni. Aby więc ograniczyć czas potrzebny na przygotowanie danych, zamiast uśrednić i dopasować dane do siatki modelu w procesie interpolacji, jeszcze przed właściwą interpolacją system dokonuje wstępnego uśrednienia danych położonych względem siebie w odległościach mniejszych niż rozmiar komórki modelowej. Pozwala to zmniejszyć wyjściową liczbę punktów do zaledwie kilku procent w stosunku do surowych danych, a czas przygotowania plików wyjściowych skraca się dzięki temu kilkunastokrotnie. Aby moduł asymilacji mógł poprawnie odczytać dane, muszą one być zapisane w formacie binarnym i powinny być naniesione w odpowiednich miejscach na trójwymiarową siatkę modelu. W tym celu moduł przetwarzania danych pobiera zapisane w pliku CSV informacje o położeniu miejsca pomiarów i na ich podstawie wyznacza na siatce modelu odpowiedni punkt, w którym umieszczany jest wynik pomiaru, a następnie zapisuje wyniki w pliku binarnym. Niektóre dane otrzymywane z pomiarów mają inne jednostki niż te, które są wymagane przez model do obliczeń. Moduł przetwarzania danych jest odpowiedzialny również za ich przeliczenie.

10.3. ARCHIWIZACJA

Dane przetwarzane w projekcie FindFISH można podzielić logicznie na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią dane pozyskiwane z zewnątrz i wykorzystywane jako dane wejściowe do modeli wyliczających kolejne parametry. Z kolei druga grupa to dane wyjściowe, będące wynikiem obliczeń modelu EcoFish i modelu Fish. Dane wejściowe, zanim będą mogły zostać wykorzystane w modelu, muszą zostać odpowiednio przetworzone i zapisane we właściwym formacie. Jeśli wziąć pod uwagę wszystkie źródła danych, funkcjonowanie systemu wymaga przetwarzania kilkunastu GB danych na każdy dzień obliczeniowy, co powoduje bardzo duże zapotrzebowanie na przestrzeń dyskową. W celu ograniczenia zużywanego miejsca zastosowano kilka mechanizmów, takich jak: konwersja, kompresja, archiwizacja, usuwanie czy też nadpisywanie niektórych danych. Sam proces kompresji i archiwizacji wygląda podobnie dla każdego typu danych i przedstawiono go na rys. 10.6.

Pierwsze kroki systemu archiwizacji są takie same jak w dwóch poprzednich rodzajach procesów, tj. kontroler uruchomień jest uruchamiany zgodnie z harmonogramem i uruchamia środowisko wirtualne. Następnie archiwizator ładuje moduł logowania i skanuje folder z danymi w poszukiwaniu plików starszych niż zdefiniowany okres, np. jednego miesiąca. Jeśli archiwizator znajdzie starsze pliki, w zależności od zdefiniowanych opcji, poddaje je kompresji, a następnie zostają one przeniesione do archiwum. Opcjonalna kompresja, foldery z plikami wejściowymi oraz docelowe foldery w archiwum są konfigurowane osobno dla każdego źródła danych. Część danych produkowanych przez system, np. niektóre pliki wspomagające pracę modelu, znajduje się w tych samych folderach co dane wyjściowe, ale nie powinny zostać poddane archiwizacji, gdyż nie są już przydatne. Filtrowanie plików istotnych z punktu widzenia archiwizacji jest obsługiwane dzięki możliwości zdefiniowania wzorców nazewnictwa plików, które powinny zostać zarchiwizowane. W trakcie pracy archiwizator, skanując foldery, wybiera tylko pliki pasujące do jednego z zadanych wzorców.



Rys. 10.6. Proces archiwizacji danych w systemie FindFISH

Źródło: opracowanie własne IO PAN.

10.3.1. Dane atmosferyczne

Dane atmosferyczne przechowywane są w dziennych plikach w formacie NetCDF. Każdy taki plik zawiera 24 średnie godzinne wartości wszystkich parametrów atmosferycznych wykorzystywanych przez model. Rozmiar jednego pliku to 1,9 GB. W celu zmniejszenia zapotrzebowania na miejsce w trybie operacyjnym wykorzystuje się 365 plików zawierających dane na każdy dzień roku, przy czym nowe dane nie są zapisywane do nowych plików, lecz nadpisywane w plikach już istniejących. Aby nie utracić danych historycznych, dane starsze niż zadany okres, nie dłuższy niż rok, są kopiowane do archiwum i kompresowane do plików Gnu Zipped Archive, dzięki czemu są dostępne w razie potrzeby przeprowadzenia wieloletnich symulacji historycznych. Utrzymywanie serii 365 plików ma dodatkową zaletę, niezwiązaną bezpośrednio z modułem operacyjnym, ale również wartą wspomnienia. Możliwe jest bowiem skonfigurowanie modelu w taki sposób, aby ścieżki do danych atmosferycznych wskazywały na linki do plików zamiast właściwych plików. W tym przypadku można odnosić model do różnych lat, podmieniając jedynie same linki, tak aby wskazywały inne pliki, dzięki czemu nie ma potrzeby każdorazowej zmiany konfiguracji modelu.

10.3.2. Dane wymuszające na granicę

Dane na granicę przechowywane są w plikach binarnych. Każdy parametr przechowywany jest w oddzielnym pliku. Dane te dzielą się na dane powierzchniowe oraz dane głębokościowe. Pliki powierzchniowe mają rozmiar 4,9 MB, z kolei pliki głębokościowe – około 127 MB. Moduł hydrodynamiczny wymaga dostarczania danych co 6 godzin, co daje 4 pliki dziennie dla każdego parametru. Moduł biochemiczny wymaga dostarczania nowych danych raz dziennie. Dodatkowo, w celu zapewnienia płynnego przejścia na granicy modelu, konieczne jest wykorzystanie plików z maską, która określa, z jaką siłą dane na granicę powinny wpływać na wyniki modelu w każdym jego punkcie. Podobnie jak w przypadku danych atmosferycznych, starsze dane na granicę również są kompresowane do plików Gnu Zipped Archive i przenoszone do archiwum. W tym jednak przypadku nowe dane z kolejnego roku są zapisywane do nowych plików, a nie nadpisywane na poprzednich, ponieważ nazwa pliku musi zawierać rok, z którego pochodzą dane. Dzięki temu, że siła, z jaką dane na granicę wpływają na model, jest stała, możliwe jest wykorzystanie jednego wspólnego pliku maski dla wszystkich parametrów.

10.3.3. Dane do asymilacji

Dane asymilacyjne z różnych źródeł są przechowywane, podobnie jak dane na granicę, w formie binarnej i – również podobnie – każdy parametr musi być przechowywany w oddzielnym pliku o rozmiarze 127 MB dostarczany raz dziennie. Tak jak w przypadku danych na granicę konieczne są też pliki maski wskazujące, gdzie model ma asymilować dane. Natomiast w odróżnieniu od danych na granicę, które są zawsze dostępne na całej domenie i które zawsze są asymilowane z taką samą siłą w tych samych miejscach, rozmieszczenie danych asymilowanych pochodzących np. z pomiarów satelitarnych lub z sond pomiarowych na statkach rybackich ma charakter losowy i zależy m.in. od trasy przelotu satelity, aktualnego zachmurzenia lub od trasy danego rejsu. W związku z tym maska danych musi być tworzona dynamicznie do każdego pliku z danymi. Z tych samych powodów możemy mieć do czynienia z brakiem danych do asymilacji dla pojedynczych dni lub całych okresów. Mimo to konfiguracja modelu wymusza obecność plików z każdego dnia, ponieważ nie wiadomo z góry, kiedy takie dane będą dostępne. W celu zaoszczędzenia miejsca w trybie operacyjnym pliki w dniach, dla których nie ma danych, są zastępowane linkami do jednego wspólnego pliku reprezentującego brak danych. Dokładniej mówiąc, linki do tego pustego pliku są tworzone z wyprzedzeniem i tylko w przypadku jeśli za dany dzień pojawią się dane do asymilacji, link jest usuwany, a w jego miejsce wprowadzany jest rzeczywisty plik z danymi. Archiwizacja starszych danych odbywa się tak samo jak w przypadku danych na granicę, tj. są one kompresowane i przenoszone do archiwum.

10.3.4. Wyniki modelu

Dane wyjściowe są przechowywane w plikach NetCDF, z których każdy ma rozmiar 8,7 GB i zawiera pełen zestaw parametrów na dany dzień w formie 4 średnich 6-godzinnych. W związku z tym, że dane te mają być dostępne online z poziomu serwisu, są one przechowywane bez kompresji i bez przenoszenia do archiwum przez długi czas. Wskazany rozmiar mają pliki zawierające pełen zestaw danych modelowych bezpośrednio po wykonaniu obliczeń. Możliwe jest jednak zmniejszenie rozmiaru pliku poprzez usunięcie z niego zmiennych nieistotnych z punktu widzenia projektu. Pozwala to na zmniejszenie jego rozmiaru o około 30%. Dodatkowo pliki z modelu zapisywane są oryginalnie w formacie NetCDF3. Dzięki ich konwersji do formatu NetCDF4 możliwe jest zmniejszenie ich rozmiaru o kolejne 60%.

PODSUMOWANIE

Przedstawiony w tym rozdziale system kontrolujący model EcoFish w trybie operacyjnym składa się z szeregu modułów, które można podzielić logicznie na trzy kategorie komponentów. Każda z nich odpowiada za inny aspekt pracy systemu.

Pierwsza kategoria to komponenty kontrolujące pracę całego systemu w trybie operacyjnym. Kontrolery uruchomień poszczególnych modułów odpowiadają za uruchamianie oraz kontrolę statusu wykonania modułów przetwarzających dane, modułów archiwizujących i kontrolera modelu EcoFish. Moduły konfiguracyjne przechowują i dostarczają informacje na temat parametrów uruchomieniowych oraz zmiennych środowiskowych każdego z procesów. Harmonogram uruchomień, pliki metadanych i kolejki zapewniają synchronizację i komunikację pomiędzy komponentami. Ostatni moduł w tej kategorii, moduł logowania, zapewnia szczegółowy wgląd w przebieg pracy wszystkich pozostałych elementów systemu, pozwalając na sprawdzenie aktualnego stanu systemu, jak również łatwą identyfikację problemów, które mogą zakłócić działanie systemu w trybie operacyjnym.

Druga kategoria komponentów to moduły przetwarzania danych wejściowych, takich jak dane atmosferyczne, dane na granicę oraz dane do asymilacji. Moduły te odpowiadają za sprawdzanie, czy pojawiły się nowe dane, ich pobieranie na serwer, a także zapewniają przetworzenie danych do formatu zdatnego do użycia przez model EcoFish poprzez m.in. ich interpolację, filtrowanie, przeliczanie jednostek czy wyliczanie dodatkowych zmiennych.

Trzecia kategoria to moduły odpowiedzialne za archiwizację przetworzonych danych wejściowych oraz wyników modelu. Wykorzystane już dane wejściowe i wyniki modelu po upływie odpowiedniego czasu są przesyłane do archiwum oraz poddawane kompresji lub konwersji do innych formatów, co pozwala znacznie zaoszczędzić przestrzeń dyskową.

Wszystkie opisane komponenty łącznie tworzą system zapewniający płynną i stabilną pracę modelu EcoFish w trybie operacyjnym, a co za tym idzie umożliwiają dostarczenie wyników modelu na potrzeby kolejnych komponentów rozwijanych w ramach projektu FindFISH. Ponadto umożliwiają łatwą obsługę systemu przez administratora poprzez dostarczenie plików z logami i metadanymi przedstawiającymi historię pracy systemu oraz jego aktualny stan.

LITERATURA

1. Dzierzbicka-Głowacka L., Jakacki J., Janecki M., Nowicki A., *Activation of the operational ecohydrodynamic model (3D CEMBS) – the hydrodynamic part*, Oceanologia, 2013a, 55, 519–541. <http://dx.doi.org/10.5697/oc.55-3.519>.
2. Dzierzbicka-Głowacka L., Janecki M., Nowicki A., Jakacki J., *Activation of the operational ecohydrodynamic model (3D CEMBS) – the ecosystem module*, Oceanologia, 2013b, 55, 543–572. <http://dx.doi.org/10.5697/oc.55-3.543>.
3. Dzierzbicka-Głowacka L., Nowicki A., Janecki M., Szymczycha B., Piotrowski P., Piekiel P., Łukasiewicz G., *Structure of the FindFISH Knowledge Transfer Platform*. Fisheries & Aquatic Life, 2018, 26, 193–197. <http://dx.doi.org/10.2478/aopf-2018-0021>.
4. Herman-Iżycki L., Jakubiak B., Nowiński K., Niezgódka B., *UMPL – the numerical weather prediction system for operational applications. Research works based on the ICMs UEMPL numerical weather prediction system results*, ICM Publishing, Warszawa 2002, 14–27.
5. Janecki M., Dybowski D., Nowicki A., Dzierzbicka-Głowacka L., *Analiza dynamiki zmienności parametrów biochemicznych w rejonie Zatoki Gdańskiej za pomocą modelu EcoFish (rozdział 7)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 179–204.
6. Janecki M., Dybowski D., Nowicki A., Jakacki J., Dzierzbicka-Głowacka L., *Analiza parametrów fizycznych wód Zatoki Gdańskiej za pomocą modelu numerycznego EcoFish (rozdział 6)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 145–178.
7. Janecki M., Dzierzbicka-Głowacka L., *Moduł Fish – mapowanie najkorzystniejszych warunków środowiskowych dla bytowania ryb badanych gatunków poławianych przemysłowo w rejonie Zatoki Gdańskiej (rozdział 9)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 220–239.
8. Krzemień G., Wittbrodt J., Dzierzbicka-Głowacka L., *Wyprawy rybackie – realizacja rejsów pomiarowych przez kutry i łodzie rybackie (rozdział 4)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 97–117.
9. Nowicki A., Janecki M., Dzierzbicka-Głowacka L., *Asymilacja danych satelitarnych oraz środowiskowych w modelu EcoFish (rozdział 8)*, w: Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa, red. L. Dzierzbicka-Głowacka, Wydawnictwo Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2023, 205–219.
10. Rew R., Davis G., *NetCDF: an interface for scientific data access*, IEEE Computer Graphics and Applications, 1990, 10(4), 76–82. DOI: 10.1109/38.56302.

11. Woźniak B., Bradtke K., Darecki M., Dera J., Dudzińska-Nowak J., Dzierzbicka-Głowacka L., Ficek D., Furmańczyk K., Kowaewski M., Krężel A., Majchrowski R., Ostrowska M., Paszkuta M., Stoń-Egiert J., Stramska M., Zapadka T., *SatBałtyk – a Baltic environmental satellite remote sensing system – an ongoing project in Poland. Part 1: Assumptions, scope and operating range*, Oceanologia, 2011a, 53(4), 897–924.
12. Woźniak B., Bradtke K., Darecki M., Dera J., Dudzińska-Nowak J., Dzierzbicka-Głowacka L., Ficek D., Furmańczyk K., Kowalewski M., Krężel A., Majchrowski R., Ostrowska M., Paszkuta M., Stoń-Egiert J., Stramska M., Zapadka T., *SatBałtyk – a Baltic environmental satellite remote sensing system – an ongoing project in Poland. Part 2: Practical applicability and preliminary results*, Oceanologia, 2011b, 53(4), 925–958.
13. Woźniak B., Krężel A., Darecki M., Woźniak S.B., Majchrowski R., Ostrowska M., Kozłowski Ł., Ficek D., Olszewski J., Dera J., *Algorithm for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 1: Mathematical apparatus*, Oceanologia, 2008, 50(4), 451–508.
14. Yoo A.B., Jette M.A., Grondona M., *SLURM: Simple Linux Utility for Resource Management. Job scheduling strategies for parallel processing*, JSSPP 2003. Lecture Notes in Computer Science, 2003, 2862, 44–60. DOI: https://doi.org/10.1007/10968987_3.

Praca wykonana w ramach projektu „Platforma transferu wiedzy FindFISH – Numeryczny System Prognozowania warunków środowiska morskiego Zatoki Gdańskiej dla Rybołówstwa” (nr RPPM.01.01.01-22-0025/16-00) współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014–2020.

Obliczenia wykonano z wykorzystaniem komputerów Centrum Informatycznego Trójmiejskiej Akademickiej Sieci Komputerowej.