

# **XV Krajowa Konferencja Automatyki**

**Tom II**



**Redaktorzy:  
Zdzisław Bubnicki  
Roman Kulikowski  
Janusz Kacprzyk**

# XV Krajowa Konferencja Automatyki Tom II



Redaktorzy:  
Zdzisław BUBNICKI  
Roman KULIKOWSKI  
Janusz KACPRZYK

## **ORGANIZATOR**

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk  
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

## **WSPÓLORGANIZATORZY**

Politechnika Warszawska

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

## ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk  
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

## WSPÓLORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska  
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów  
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

## KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

## CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFczyk
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

## KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowci	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-01-4

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk  
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

STEROWANIE  
I TECHNIKA KOMPUTEROWA

## REALIZACJA SYSTEMU STEROWANIA OCHRONĄ PRZECIWPOWODZIOWĄ W ŚRODOWISKU GRIDÓW OBLICZENIOWYCH

Michał KARPOWICZ\*, Ewa NIEWIADOMSKA-SZYNKIEWICZ\*\*, Adam KOZAKIEWICZ\*

\*Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej  
ul. Nowowiejska 15/19, 00-665 Warszawa e-mail:m.karpowicz@elka.pw.edu.pl,  
ens@ia.pw.edu.pl, akozakie@ia.pw.edu.pl

\*\*Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa (NASK)  
ul. Wąwozowa 18, 02-796 Warszawa, e-mail:Ewa.Niewiadomska@nask.pl

**Streszczenie:** Praca dotyczy zagadnień związanych z optymalizacją i sterowaniem systemami złożonymi z wielu podsystemów. Prezentowana jest realizacja w środowisku gridowym układu sterowania systemem zbiorników retencyjnych działających w czasie powodzi. Głównym celem autorów jest zwrócenie uwagi na możliwość zastosowania gridów obliczeniowych do projektowania struktur sterowania i mechanizmów decyzyjnych oraz do operacyjnego sterowania systemami.

**Słowa kluczowe:** obliczenia rozproszone, gridy obliczeniowe, systemy złożone, hierarchiczne struktury sterowania.

### 1. WPROWADZENIE

W ostatnich dwóch dekadach nastąpił gwałtowny rozwój obliczeń równoległych i rozproszonych. Upowszechniły się maszyny wieloprocesorowe i sieci komputerowe. Coraz większą popularność zdobywają gridy obliczeniowe. Celem zrównoleglenia jest przyspieszenie obliczeń i możliwość wykonania zadań zbyt dużych dla pojedynczego komputera. W pewnych zastosowaniach konieczność rozproszenia wynika z modelowanej sytuacji. W przypadku, gdy badane systemy składają się z wielu podsystemów, w których jednocześnie przebiegają różne procesy, rozproszenie pozwala na odzwierciedlenie realiów działania systemów, umożliwia badanie wielu zachodzących w nich zjawisk, takich jak efektywna komunikacja, awarie transmisji, synchronizacja pracy, itp.

W pracy zaprezentowano realizację w środowisku gridowym układu sterowania systemem zbiorników retencyjnych działających podczas powodzi. Na wstępie przedstawiono koncepcję gridów obliczeniowych. Następnie omówiono rozważany system ochrony przeciwpowodziowej i jego realizację komputerową w środowisku UNICORE. W dodatku zamieszczono krótki opis wykorzystanego systemu gridowego.

### 2. GRIDY OBLICZENIOWE

Zamysł współdzielenia zasobów komputerowych nie jest nowy. Był on realizowany od początku istnienia sieci Internet. W ostatnich latach opracowano szereg narzędzi umożliwiających równoległe i rozproszone przetwarzanie informacji. Koncepcja gridów obliczeniowych rozszerza i uzupełnia istniejące rozwiązania. Formułowanych jest wiele definicji gridów [1, 6], najbardziej popularne to:

1. *Infrastruktura sprzętu i oprogramowania dostarczająca niezawodnego, spójnego i niedrogiego dostępu do dużych zasobów.*
2. *Skoordynowane współdzielenie zasobów oraz rozwiązywanie problemów w dynamicznych, obejmujących wiele instytucji, wirtualnych organizacjach.*
3. *Zbiór luźno powiązanych, rozproszonych geograficznie, heterogenicznych zasobów obliczeniowych.*

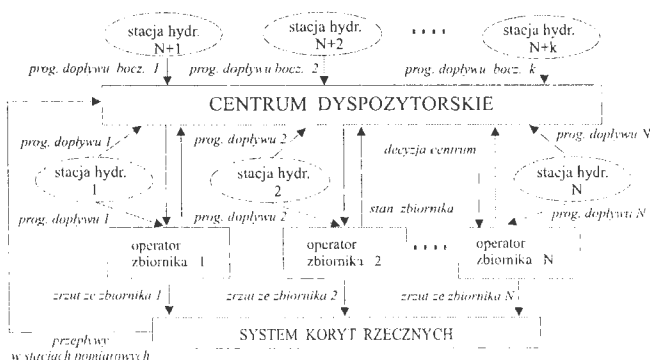
Wszystkie przedstawione definicje określają systemy gridowe jako narzędzia umożliwiające współdzielenie zasobów, które w tym przypadku oznacza bezpośredni dostęp do komputerów, oprogramowania, danych oraz innych obiektów, które są wykorzystywane w skoordynowanych procesach decyzyjnych, w zastosowaniach praktycznych i badawczych. Rozważane zasoby to: superkomputery i klastry obliczeniowe łącznie z zainstalowanym oprogramowaniem, bazy i hurtownie danych, serwery graficzne, urządzenia pomiarowe, sterowniki i inne. Systemy gridowe to środowiska, których zadaniem jest łączenie i koordynowanie dostępem do wymienionych narzędzi, w taki sposób, by nie osłabić zabezpieczenia systemów i użytkowników, nie powodować zakłóceń w pracy na maszynach lokalnych oraz nie odbierać administratorom autonomii w zarządzaniu dostępem do podlegających im zasobów. Dla osiągnięcia wymienionych celów konieczne było ustalenie pewnych reguł i wymagań dotyczących systemów gridowych. Wynikiem prac nad standaryzacją

usług gridowych i prób połączenia już istniejących systemów oprogramowania jest architektura OGSA (*Open Grid Services Architecture*) [3].

Pierwsze środowiska gridowe realizowały zapotrzebowania naukowców. Udostępniały one moce obliczeniowe dla wykonania zadań przetwarzających ogromne ilości danych, w zastosowaniach takich jak fizyka i chemia kwantowa, astronomia, kosmologia, biologia molekularna, meteorologia i inne. Obecnie gridy są coraz częściej wykorzystywane do organizowania współpracy środowisk naukowych oraz biznesowych tworzących tzw. *wirtualne organizacje*. Umożliwiają one zarządzanie eksperymentem wykorzystującym rozproszone urządzenia pomiarowe, udostępniają jednorodną strukturę informatyczną dla badaczy i inżynierów oraz pozwalają na koordynowanie pracy oddziałów dużych firm. W przypadku aplikacji prezentowanej w niniejszej pracy grid obliczeniowy jest wykorzystywany do stworzenia jednorodnego środowiska do wspomagania prac projektowych, których celem jest zbudowanie układu sterowania złożonym systemem. Po ewentualnym wdrożeniu, środowisko to może być zastosowane w sterowaniu operacyjnym, jako platforma organizująca współpracę decydentów i jednostek pomocniczych przygotowujących dane wykorzystywane w procesie decyzyjnym.

### 3. WIELOZBIORNIKOWY SYSTEM OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ

Rozważany jest system złożony z sieci rzecznej i  $N$  zbiorników retencyjnych umieszczonych na dopływach rzeki głównej. Celem działania jest takie sterowanie pracą zbiorników, które pozwoli na obniżenie strat spowodowanych przejściem fali powodziowej przez system koryt rzecznych. Decyzje dotyczące działania systemu są podejmowane przez wielu operatorów na szczeblu lokalnym i centralnym. Dane pomiarowe są, w miarę możliwości, na bieżąco dostarczane przez stacje hydrologiczne. Zbiorniki oraz stacje pomiarowe mogą być w znacz-



Rysunek 1. System ochrony przeciwpowodziowej

nym oddaleniu od siebie, decyzje o wielkościach zrzutów wody są podejmowane w trudnych warunkach, przy wysokiej niepewności, jednocześnie wymaga się szybkiego reagowania na zmieniającą się sytuację powodziową w regionie. Operatorzy poszczególnych zbiorników dążą do

realizacji swoich lokalnych celów, polegających na obniżeniu strat w cieku rzeczny bezpośrednio za zbiornikiem. W większości przypadków nie prowadzi to jednak do optymalnego działania całości systemu. Poszczególne podsystemy są powiązane wzajemnie przez wspólny, nadrzędny cel działania jakim jest ochrona przeciwpowodziowa całego regionu. Konieczność obniżania globalnych strat ogranicza działania operatorów lokalnych.

Rozważany system charakteryzuje naturalna hierarchia. Na rysunku 1 wyróżniono jednostkę nadzorującą pracę systemu jako całości – centrum dyspozytorskie (koordynator) oraz jednostki lokalne (operatorzy zbiorników). Do zarządzania rozważanym systemem zaproponowano hierarchiczną strukturę sterowania z koordynacją periodyczną, [9, 10]. Zadanie sterowania zostało zdekomponowane na  $N + 1$  zadań o mniejszym wymiarze. Wśród nich można wyróżnić  $N$  zadań wyznaczania zrzutów ze zbiorników oraz jedno zadanie nadrzędne koordynacji zrzutów. W ten sposób otrzymano dwupoziomą strukturę sterowania, gdzie poziom górny stanowi centrum sterowania (koordynator), a dolny operatorzy zbiorników. W warunkach operacyjnego działania zadania górnego i dolnego poziomu są rozwiązywane repetytywnie (na poziomie górnym co okres czasu  $\Delta T_c$ , a dolnym co  $\Delta T_l$ ,  $\Delta T_l \leq \Delta T_c$ ). Przejdźmy do sformułowania zadań rozwiązywanych przez poszczególnych decydentów w systemie.

#### 3.1. Centrum dyspozytorskie

Zadaniem operatora centrum dyspozytorskiego jest koordynowanie pracy operatorów zbiorników, w celu obniżenia strat w całym rozważanym systemie wodnym. W kolejnych chwilach  $t_c, t_{c+1} = t_c + \Delta T_c$ , w wyniku rozwiązania zadania (1), wyznaczany jest wektor parametrów stanowiących instrumenty koordynacji  $\mathbf{a}$

$$\min_{\mathbf{a} \in A} [\varphi(\mathbf{a}) = J(\mathbf{Q}_{[t_c, t_k]})] \quad \mathbf{a} = [\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_N] \quad (1)$$

gdzie  $\varphi(\mathbf{a})$  oznacza wskaźnik jakości optymalizacji,  $A$  zbiór dopuszczalnych wartości parametrów  $\mathbf{a}$ ,  $J(\mathbf{Q}_{[t_c, t_k]})$  funkcjonal jakości opisujący straty powodziowe w całym systemie wodnym, a  $[t_c, t_k]$  horyzont optymalizacji. Wskaźnik  $J$  zależy od wektora parametrów  $\mathbf{a}$  w sposób uwikłany, poprzez równania transformacji fali,  $\mathbf{Q}(t) = \mathbf{F}(\mathbf{Q}(t_c), \hat{\mathbf{u}}_{[t_c, t]}(\mathbf{a}), \bar{\mathbf{d}}_{[t_c, t]}^{t_c})$ , gdzie  $\mathbf{Q}(t)$  oznacza wektor przepływów w dorzeczu w chwili  $t$ ,  $\hat{\mathbf{u}}$  zrzuty uzależnione od aktualnych stanów zbiorników, a  $\bar{\mathbf{d}}^{t_c}$  prognozy dopływu wyznaczone w chwili  $t_c$ . Przy założeniu pewnych uproszczeń, dla celów sterowania można przyjąć, że straty powodziowe są wyrażone poprzez niemalejącą funkcję kulminacji fali w wybranych punktach pomiarowych systemu. Z reguły największą wagę przywiązuje się do punktów węzłowych, usytuowanych u ujścia rzek. W związku z tym, z punktu widzenia całości systemu można sformułować następujący wskaźnik jakości w zadaniu (1):

$$J(\mathbf{Q}_{[t_c, t_k]}) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \max(Q_k^{kul} - Q_k^{limit}, 0) \quad (2)$$

gdzie  $Q_k^{kul} = \max_{t \in [t_c, t_k]} Q_k(t)$  dla  $k = 1, \dots, K$ ,  $\alpha_k$  waga przypisana punktowi pomiarowemu (straty zależą od infrastruktury w otoczeniu danego punktu pomiarowego),  $Q_k$  przepływ w  $k$ -tym punkcie, a  $Q_k^{limit}$  przepływ graniczny w  $k$ -tym profilu, który nie powoduje strat.

### 3.2. Zbiorniki retencyjne

Do wyznaczania wielkości zrzutów ze zbiorników proponowane są algorytmy sterowania z powtarzaną optymalizacją, opisane szczegółowo w pracy [8]. Opracowano trzy instrukcje operatorskie:  $I_P$  – instrukcja podstawowa,  $I_U$  – instrukcja z uśrednianiem,  $I_I$  – instrukcja z przewidywaniem przyszłej interwencji. Wielkości odpływów są wyznaczane w kolejnych chwilach  $t_i, t_{i+1} = t_i + \Delta T_i, t_i \leq t_c$ . Wektor zmiennych koordynujących  $\mathbf{a}_i$  jest parametrem lokalnego wskaźnika jakości w rozwiązywanym przez  $i$ -tego operatora zadaniu optymalizacji i jego rola polega na zachęcaniu operatora do realizacji, w określonym przedziale czasu, większego lub mniejszego zrzutu, niż wynika to z zastosowania lokalnych instrukcji operatorskich. Umożliwia to rozsuniecie w czasie kulminacji przepływów w poszczególnych ciekach, zmniejszając w ten sposób kulminacje przepływów w niewralgicznych punktach węzłowych dorzecza. Przyjmijmy, że każdy podwektor  $\mathbf{a}_i$  składa się z dwóch parametrów ( $T_i^*$  i  $c_i$ ). W rozważanym przypadku opisuje on funkcję wagi  $\alpha_i$  przeskalowującą lokalny wskaźnik:

$$\alpha_i(t) = 1 + (c_i - 1) \cdot 1(t - T_i^*) = \begin{cases} 1 & t \in [t_i, T_i^*) \\ c_i & t \in [T_i^*, t_k] \end{cases} \quad (3)$$

gdzie  $1(\tau) = 1$  dla  $\tau \geq 0$  i  $1(\tau) = 0$  dla  $\tau < 0$ .

Uwzględniając parametry koordynacji, operator  $i$ -tego zbiornika wyznacza optymalne wartości odpływów, stosując jedną z trzech wspomnianych instrukcji operatorskich:

*Instrukcja podstawowa ( $I_P$ )* – sterowanie w układzie otwartym, deterministyczna prognoza dopływu

$$\min_{u_i} \left[ q_i(u_i(\cdot), \mathbf{a}_i) = \max_{t \in [t_i, t_k]} (u_i(t) \cdot \alpha_i(t)) \right] \quad (4)$$

W instrukcji  $I_P$  zakłada się, że w chwili  $t_i$  operator dysponuje jedną prognozą dopływu  $\bar{d}_i^{t_i}$ .

*Instrukcja z uśrednianiem ( $I_U$ )* – sterowanie w układzie otwartym, stochastyczna prognoza dopływu

$$\hat{u}_i^{t_i} = \sum_{m=1}^M p_m^{t_i} \hat{u}_i^{t_i, m}, \quad \sum_{m=1}^M p_m^{t_i} = 1 \quad (5)$$

gdzie:  $\hat{u}_i^{t_i, m}$  oznacza rozwiązanie zadania (4) dla  $m$ -tego scenariusza powodzi.

W instrukcji z uśrednianiem  $I_U$  przyjmuje się, że w chwili  $t_i$  operator  $i$ -ty dysponuje pękiem  $M$  prognoz dopływu  $\bar{d}_i^{t_i, m}$ , którym przypisuje pewne wartości wagowe  $p_m^{t_i}, (m = 1, \dots, M)$  – prawdopodobieństwa realizacji.

*Instrukcja z przewidywaniem jednej interwencji operatora ( $I_I$ )* – sterowanie w układzie 1-zamkniętym, stocha-

styczna prognoza dopływu

$$\min_{\bar{u}_i} \max \left[ \bar{u}_i, \sum_{m=1}^M p_m^{t_i} q_i^{t_i, m}(\bar{u}_i) \right] \quad (6)$$

gdzie  $\bar{u}_i$  oznacza stałowartościowy zrzut z  $i$ -tego zbiornika wyznaczony na horyzoncie  $[t_i, t_1)$ ,  $q_i^{t_i, m}$  funkcjonal strat w (4) na horyzoncie czasowym  $[t_1, t_k]$  dla  $m$ -tego scenariusza powodzi.

Instrukcja z przewidywaniem interwencji  $I_I$  podobnie jak  $I_U$  korzysta z modelu losowego dopływów. Ponadto, w chwili podejmowania decyzji  $t_i$  operator zakłada, że do chwili  $t_1 = t_i + \Delta T$  będzie realizował określony, stałowartościowy zrzut  $\bar{u}$ , a po upływie okresu czasu  $\Delta T$ , wiedząc już, który z  $M$  prognozowanych scenariuszy dopływu do zbiornika jest realizowany, wyznaczy przebieg sterowania, który będzie obowiązywać do końca powodzi. Operator przyjmuje więc, że jednorazowo, w chwili  $t_1$  zmieni swoją decyzję i począwszy od tej chwili interweniować nie będzie.

Prezentowane zadania optymalizacji są rozwiązywane przy uwzględnieniu ograniczeń na minimalne i maksymalne napełnienia i odpływy ze zbiorników.

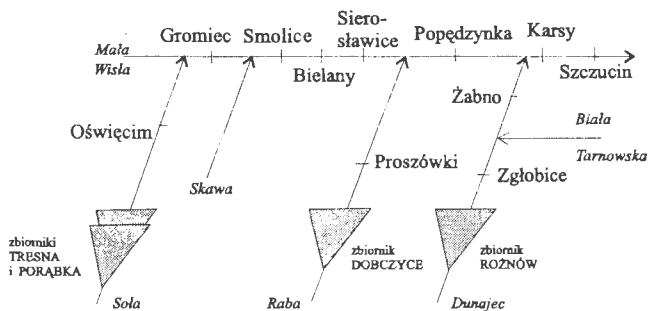
### 3.3. Jednostki pomocnicze

Jednostki pomocnicze w systemie to stacje pomiarowe i stacje hydrologiczne lub oddział/oddziały IMiGW wyznaczające prognozy dopływów. Zakłada się, że dane pomiarowe dotyczące sytuacji w dorzeczu są na bieżąco umieszczane w odpowiednio przygotowanych bazach danych. Ze względu na rozdział kompetencyjny i decyzyjny wydaje się zasadne tworzenie rozproszonych baz danych. Wykonanie badań, których celem była weryfikacja zaprojektowanego układu sterowania, ocena jego efektywności i odporności na zakłócenia, takie jak opóźnienia transmisji danych, awarie, itp. wymagała przygotowania odpowiednich symulatorów. Zrealizowano symulator transformacji fali przez sieć koryt rzecznych opisany w pracy [9] oraz dwa generatory prognoz dopływów opracowane przez Instytuty Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie i Warszawie [4, 12].

## 4. REALIZACJA SYSTEMU OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ W ŚRODOWISKU GRIDOWYM

Przedstawiony układ sterowania został zrealizowany w postaci gridowego systemu zarządzania ochroną przeciwpowodziową w dorzeczu Górnej Wisły. Rozważano następujące zbiorniki retencyjne: Tresna z Porąbką, Dobczyce i Rożnów (rys. 2). Tworząc projekt systemu uwzględniono podstawowe cechy środowisk gridowych oraz przyjęto następujące założenia:

1. Architektura systemu odzwierciedla hierarchiczną strukturę sterowania przedstawioną na rysunku 1.
2. Struktury gridowe wspierają mechanizm koordynacji periodycznej stosowany w sterowaniu systemem zbiorników.



Rysunek 2. System zbiorników dorzecza Górnej Wisły

3. System umożliwia prowadzenie równoległych symulacji, na podstawie których oceniana jest efektywność różnych reguł operatorskich i zachowań koordynatora.
4. Komunikacja między decydentami oraz jednostkami pomocniczymi jest realizowana przez system gridowy.
5. System jest prosty w obsłudze, wyposażony w wygodne w użyciu interfejsy graficzne.

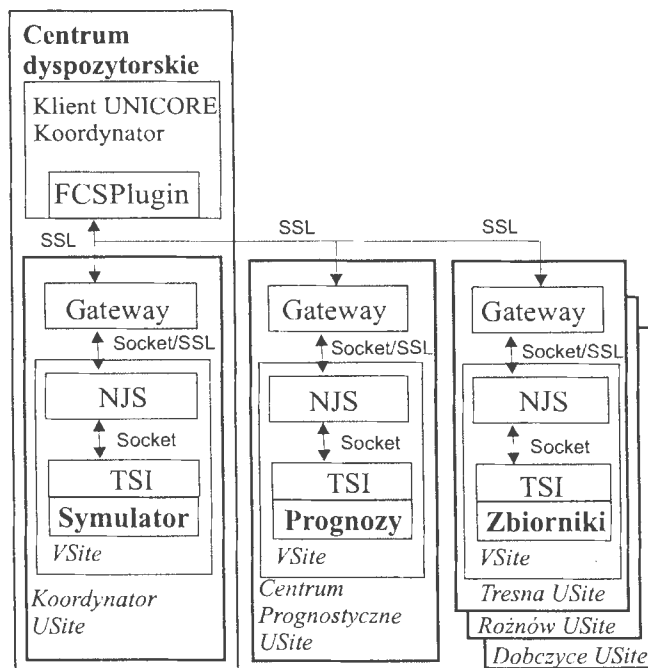
Głównym celem realizacji systemu zarządzania ochroną przeciwpowodziową w środowisku gridowym było dostarczenie platformy pozwalającej na współpracę różnych ośrodków przetwarzania informacji, czyli stacji pomiarowych, prognostycznych oraz jednostek podejmujących decyzje dotyczące realizowanych zrzutów ze zbiorników. Drugim, ważnym aspektem było dostarczenie możliwości równoległego przetwarzania bardzo dużej liczby danych oraz przeprowadzania znacznej liczby eksperymentów symulacyjnych.

#### 4.1. Opis architektury systemu

Gridowy system zarządzania ochroną przeciwpowodziową *Flood Control and Simulation (FCS)* jest komputerową realizacją hierarchicznego układu sterowania przedstawionego na rysunku 1. Jego strukturę prezentuje rysunek 3. Aplikacja została wykonana przy wykorzystaniu systemu UNICORE stanowiącego interfejs do zasobów rozproszonych w sieci [2, 7], którego strukturę oraz działanie omówiono w dodatku. Rozważane zasoby to ośrodki obliczeniowe zlokalizowane w jednostkach decyzyjnych oraz centrum prognostycznym. Z punktu widzenia FCS stanowią one węzły systemu gridowego, do których bezpieczny dostęp jest realizowany przez bramki (*gateway*) systemu UNICORE. Przekazywane za ich pośrednictwem zadania są przetwarzane i tłumaczone na polecenia zrozumiałe dla zasobu docelowego przez serwer NJS. Za uruchomienie poleceń odpowiada interfejs TSI.

Koordynator za pomocą klienta systemu UNICORE rozbudowanego o dedykowany *plugin* realizuje następujące zadania:

1. Zlecenie zadań wskazanym węzłom w systemie gridowym.



Rysunek 3. Realizacja gridowego systemu sterowania falą powodziową

2. Zbieranie i prezentacja danych pomiarowych i wyników obliczeń wykonanych przez węzły systemu.
3. Przekazywanie parametrów i danych wejściowych do symulatora wyznaczającego decyzje centrum dyspozytorskie oraz przesłanie obliczonych instrumentów koordynacji do węzłów obliczeniowych zlokalizowanych w ośrodkach obliczeniowych zbiorników.

Zadaniem klienta UNICORE jest więc zarządzanie obliczeniami i komunikacją między wszystkimi uczestnikami procesu decyzyjnego w systemie oraz zbieranie i prezentacja danych o sytuacji powodziowej i zrealizowanych dotychczas decyzjach. Instrumenty koordynacji są wyznaczane przez odpowiedni program umieszczony w węzle obliczeniowym zlokalizowanym w centrum dyspozytorskim. Prognozy dopływów uzyskiwane są z bazy danych centrum prognostycznego.

#### 4.2. Elementy składowe systemu FCS

Można wyróżnić pięć zasadniczych elementów (węzłów obliczeniowych) systemu FCS. Są to: centrum prognostyczne, symulator w centrum sterowania oraz trzy zbiorniki: Tresna, Dobczyce i Rożnów.

##### 4.2.1 Centrum prognostyczne

W prezentowanej wersji systemu FCS przyjęto założenie, że wyznaczone prognozy dopływów oraz dane pomiarowe są na bieżąco dostarczane do jednego centrum prognostycznego, np. zlokalizowanego w wybranym oddziale IMiGW. W przypadku zastosowania FCS do sterowania operacyjnego baza ta może być w łatwy sposób rozproszona i dopasowana do aktualnej struktury organiza-

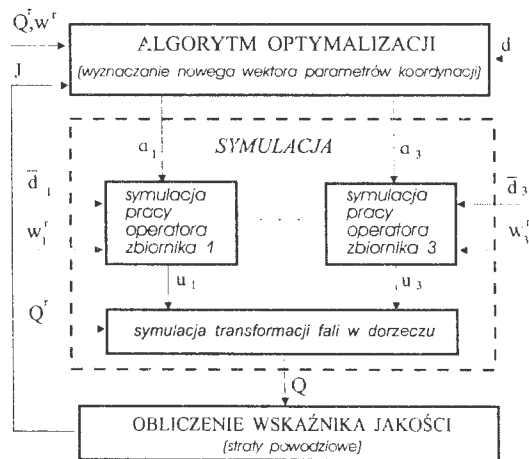


cyjnej w dorzeczu. W celu przeprowadzenia testów systemu w węzle obliczeniowym UNICORE o nazwie *centrum prognostyczne* dostępne są dwa generatory pseudo-prognoz opracowane przez IMiGW w Warszawie i Krakowie [4, 12] oraz baza danych zawierająca hydrogramy z lat 1960-1974

#### 4.2.2 Symulator

Zadaniem centrum dyspozytorskiego jest rozwiązanie złożonego problemu optymalizacji (1). Podstawowa trudność polega na tym, że oszacowanie strat powodziowych w całym systemie wodnym wymaga przeprowadzenia symulacji działania wszystkich kierowników zbiorników oraz transformacji zaproponowanych zrzutów przez system koryt rzecznych. Jest to typowy przykład zastosowania układu symulator-optymalizator [11]. Wejściami symulatora są zmienne koordynujące  $a$ . Losowe zaburzenia w systemie to nieznanne dopływy. Rezultatami eksperymentu symulacyjnego są obliczone odpływy ze zbiorników  $u$ , napełnienia zbiorników  $w$  oraz przepływy w stacjach pomiarowych  $Q$ . Wielkości te służą do wyznaczenia optymalizowanego wskaźnika jakości  $J$ , zdefiniowanego w (2). Przebieg procesu optymalizacji prezentuje rysunek 4.

Instrumenty koordynacji są w systemie FCS wyznacza-



Rysunek 4. Wyznaczanie decyzji centrum dyspozytorskiego (optymalizacja-symulacja)

ne przez symulator stanowiący zasób aplikacyjny systemu gridowego UNICORE. Dane wejściowe symulatora, takie jak np.: rodzaj metody optymalizacji (sterowane przeszukiwanie losowe CRS2 oraz sympleks nieliniowy Nelder'a-Mead'a), wariant instrukcji operatorskiej, parametry modelu transformacji fali w dorzeczu, itp. są podawane przez koordynatora i opisane parametrami sformułowanymi w pliginie klienta systemu UNICORE.

#### 4.2.3 Zbiorniki

Zadaniem węzłów o nazwie *zbiorniki*, zlokalizowanych w ośrodkach obliczeniowych zbiorników Tresna. Do-beczyce, Rożnów, jest wyznaczenie optymalnych odpływów, przy uwzględnieniu instrumentów koordyna-

cji przekazanych z poziomu centrum dyspozytorskiego. W aktualnej wersji FCS oferowane są trzy, opisane wcześniej, instrukcje operatorskie:  $I_P$ ,  $I_U$  i  $I_I$ . Kierownik zbiornika, wykorzystując dostępne oprogramowanie, może zbadać ewentualne zastosowanie wszystkich wspomnianych reguł, przy założeniu prognoz dopływu dostarczonych przez *centrum prognostyczne*. Obliczenia są wykonywane równoległe. Na podstawie uzyskanych wyników oraz wykorzystując swoje doświadczenie podejmuje decyzje dotyczące zrzutu, które realizuje. O swojej decyzji informuje centrum dyspozytorskie.

Szkielet aplikacji FCS jest napisany w języku C++. Procedury numeryczne wyznaczające prognozy dopływów, parametry koordynacji, zrzuty ze zbiorników, przepływy w stacjach pomiarowych oraz straty powodziowe są zrealizowane w języku Fortran 77. Dzięki temu uzyskana została duża wydajność działania programu. Algorytmy symulujące poszczególne odcinki systemu rzeczno-rozproszony oraz równoległy algorytm ewolucyjny do strojenia parametrów modelu zaimplementowane zostały w języku C++. Możliwość wykonywania równoległych i rozproszonych obliczeń uzyskana została dzięki zastosowaniu biblioteki LAM MPI.

### 5. ŚRODOWISKA GRIDOWE W STEROWANIU ZŁOŻONYMI SYSTEMAMI

Doświadczenia uzyskane w trakcie prac nad gridowym systemem FCS pozwalają na sformułowanie wniosków dotyczących wykorzystania gridów obliczeniowych do sterowania złożonymi systemami. Poza umożliwieniem prowadzenia obliczeń rozproszonych dla dużej liczby danych, mają one szereg innych cech skłaniających do stosowania ich w procesie projektowania złożonych układów sterowania oraz do operacyjnego sterowania systemami, takich jak:

#### *Rozszerzenie możliwości współpracy systemów*

Sterowanie złożonymi systemami wymaga zazwyczaj korzystania z rozproszonej bazy pomiarowej. Systemy gridowe służą do współdzielenia zasobów różnego rodzaju, w tym specjalistycznego sprzętu pomiarowego.

#### *Wsparcie wielopoziomowych układów sterowania*

Współdzielenie zasobów komputerowych, stanowiące istotę systemów gridowych, pozostawia węzłom obliczeniowym autonomię w sposobie działania. Decydenci otrzymują jedynie zlecenia wykonania pewnych zadań. W przypadku awarii jednego z węzłów obliczeniowych, zadania mogą być błyskawicznie przekierowane do innych bezpiecznych ośrodków w gridzie. Ponadto sztaby zarządzania kryzysowego mogą zawierać z centrami obliczeniowymi umowy o zapewnieniu, w sytuacjach kryzysowych, dostępności określonych zasobów.

#### *Wygodny i tani dostęp do rozwiązań eksperckich*

Twórcy systemu wspomagania decyzji nie muszą samodzielnie budować systemów informatycznych rozwiązujących określone zadania, możliwe jest zlecenie rozwiązania rozważanych problemów wyspecjalizowanym instytucjom, np. w systemie FCS centrom prognostycznym czy kierownikom zbiorników

*Elastyczność i możliwość adaptowania do specyficznych potrzeb użytkownika*

Dzięki zdefiniowaniu szeregu interfejsów w systemach gridowych, użytkownicy mogą dostosować oferowane narzędzia programistyczne do swoich specyficznych potrzeb.

*Dynamiczne tworzenie wirtualnych organizacji*

W przypadku zaistnienia złożonego problemu decyzyjnego, dzięki systemom gridowym, możliwe jest utworzenie wirtualnej organizacji powołanej do rozwiązywania określonego zadania, np. sztabu antykrzysowego. Dzięki możliwości łączenia systemów heterogenicznych, odpowiednie moduły mogłyby być instalowane na przykład w telefonach komórkowych.

## A SYSTEM UNICORE

UNICORE (UNiform Interface to COmputer RESources) [2, 7] jest systemem gridowym stworzonym w celu umożliwienia zdalnego dostępu do zasobów obliczeniowych. Przenośność elementów systemu zapewnia wykorzystanie języka Java oraz automatyczne tłumaczenie skryptów na język maszyny docelowej. Bezpieczeństwo komunikacji i autoryzację (jednokrotne logowanie) zapewnia się za pomocą systemu certyfikatów SSL. Zadania mogą być grupowane w zestawy wsadowe, powiązane zależnościami czasowymi. System pozostawia przy tym praktycznie pełną swobodę administratorom komputerów stanowiących zasoby obliczeniowe. Zasoby udostępniane w systemie UNICORE są grupowane w ramach *Usites*, odpowiadających ośrodkom udostępniającym zasoby. W ramach *Usite* wydzielone są *Vsites* – grupy zasobów udostępniane jako całość. System po stronie serwera składa się z trzech modułów:

1. *Gateway* – zapewnia dostęp do zasobów *Usite*, odpowiada za autoryzację użytkowników.
2. *NJS (Network Job Supervisor)* – serwer zarządzający zadaniami. Odpowiada za uwierzytelnienie użytkownika w systemie docelowym, szeregowanie zadań w ramach jednego zlecenia, oraz tłumaczenie zadań w językach skryptowych na polecenia systemu docelowego. Ponadto NJS monitoruje wykonanie zadań i informuje użytkownika o ich postępach oraz pośredniczy w zleceniu podzadań przeznaczonych do wykonania w innym *Usite* lub *Vsite*.
3. *TSI (Target System Interface)* – wprowadza zadania do lokalnego systemu szeregowania oraz realizuje import i eksport plików.

Użytkownik korzysta z systemu za pomocą aplikacji *UNICORE Client* – interfejsu graficznego. Ważną cechą systemu jest możliwość uproszczenia procedury zlecenia zadań dla konkretnych aplikacji przez tworzenie specjalnych modułów – formularzy w Javie (*plugin*), za pomocą których użytkownik może przygotować dane dla procesu obliczeniowego i obejrzeć wyniki bez ręcznego przygotowywania opisu zadań.

## APPLICATION OF GRID TECHNOLOGIES TO FLOOD CONTROL SYSTEM REALIZATION

**Abstract:** We describe the application of computing grids to simulation and decision support for control of retention reservoirs during flood period. The general idea of computing grids, their main characteristics and capabilities are briefly discussed. The practical example, i.e., hierarchical control structure for flood operation in Vistula river basin system is presented. The main goal of the paper is to show the wide applicability of grids to support research and management of the complex environmental systems.

## Literatura

- [1] Berman, F., Fox, G., Hey, T. (eds.), *Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality*, Wiley, 2003.
- [2] Erwin, D., *UNICORE Plus Final Report*, UNICORE Forum e.V., 2003.
- [3] Global Grid Forum: <http://www.ggf.org>.
- [4] IMiGW Kraków, *Scenariusz powodzi*, 1982.
- [5] Karbowski, A., Niewiadomska-Szynkiewicz, E., (ed.) *Obliczenia równoległe i rozproszone*, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 2001.
- [6] Karbowski, A., *Gridy obliczeniowe część I i II*, Biuletyn NASK, Nr. 2 i 3, str. 13-15, 2004.
- [7] Lesyng, B., Bała, P., Erwin, D., *Eurogrid - European Computational Grid Testbed*, Journal of Parallel and Distributed Computing No.63, pp. 590-596, 2003.
- [8] Malinowski, K., *Repetitive Optimization for Predictive Control of Dynamic Systems under Uncertainty* in "Control Applications of Optimization", R.Bulirsch, R.Kraft (eds.), Birkhäuser Publishers, Vol. 5, 1994.
- [9] Niewiadomska-Szynkiewicz, E., Malinowski, K., Karbowski, A., *Predictive Methods for Real Time Control of Flood Operation of a Multireservoir System - Methodology and Comparative Study*, Water Resources Research, Vol.32, No.9, pp. 2885-2895, 1996.
- [10] Niewiadomska-Szynkiewicz, E., *Computer Simulation of Flood Operation in Multireservoir Systems*, Simulation, Vol. 80, No. 2, pp. 101-116, 2004.
- [11] Spall J.C., *Introduction to Stochastic Search and Optimization*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2003.
- [12] Żelaziński, J., *Prognoza hydrogramu odpływu jako podstawa sterowania zbiornikiem retencyjnym podczas powodzi*, Praca doktorska, IMiGW, 1987.



Instytut Badań Systemowych  
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-01-4