

Alicja Grzyborowska, Wojciech Jawień

METODYKA CYFROWEGO OPRACOWANIA TERMOHIGROGRAMÓW

Zarys treści: Artykuł prezentuje założenia, elementy i zasady działania oprogramowania komputerowego przeznaczonego do cyfrowego przetwarzania termohigrogramów. Program umożliwia szybkie uzyskanie danych godzinnych temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz tworzy zestawienia danych, np. miesięczne.

Słowa kluczowe: termohigrograf, digitalizacja, metodyka opracowania danych meteorologicznych

1. Wstęp

W pracy przedstawiono konstrukcję oprogramowania opracowanego na zamówienie Zakładu Klimatologii IGiGP UJ w Krakowie, a służącego do przetwarzania zapisów z termohigrogramów paskowych (ryc. 1) na postać cyfrową. Przedstawiono zastosowane rozwiązania i nabyte w toku ich poszukiwań doświadczenia. Gdy w 1993 r. powstawała pierwsza wersja programu (otrzymał on nazwę THG), miała ona doraźnie służyć przetworzeniu na postać elektroniczną pewnej liczby zgromadzonych archiwalnych termohigrogramów. Pojawiły się już wtedy rejestratory elektroniczne, tak że rychłe odejście samopisów w niepamięć wydawało się nieuniknione. Bieg lat pokazał, że urządzenia paskowe wciąż są eksploatowane, a powstałego kilkanaście lat temu oprogramowania stale się używa i to nie tylko do zapisów z archiwalnych pasków, ale także np. do weryfikacji poprawności działania czujników elektronicznych.

2. Narzędzia

Pierwsza wersja oprogramowania (WA) pracowała w systemie MS DOS i przeznaczona była do współpracy z jednym, konkretnym modelem skanera (Epson GT6000). W związku z dłuższym od spodziewanego czasem użyteczności programu konieczne stało się dostosowanie go do obecnych standardów sprzętu i oprogramowania. WA powstała przy wykorzystaniu systemu Turbo Pascal 7.0 firmy Borland. Tworząc omawianą tu nową wersję programu (WB), starano się to osiągnąć przy jak najmniejszej

liczbie zmian. Uzasadnione było więc wykorzystanie narzędzi stanowiących kontynuację użytych poprzednio. Zdecydowano użyć Borland Delphi 7. Jedną z zalet tego wyboru jest możliwość łatwego przeniesienia aplikacji do środowiska Gnu/Linux z wykorzystaniem bliźniaczego narzędzia Borland Kylix.

3. Etapy analizy

W procesie analizy termohigrogramów można wyróżnić następujące etapy:

- skanowanie i konwersja obrazu na postać dostępną dla używanych narzędzi programowych;
- wyodrębnienie linii pomiarowej;
- transformacja z krzywoliniowego układu współrzędnych do współrzędnych prostokątnych;
- wprowadzanie punktów referencyjnych (odczytów z przyrządów precyzyjnych);
- wektoryzacja linii pomiarowej z uwzględnieniem poprawek wnoszonych przez pomiary precyzyjne;
- zapis wyników przetwarzania termohigrogramu;
- montaż wyników digitalizacji poszczególnych pasków w celu uzyskania zestawień długoterminowych (np. miesięcznych).

Rozwiązania stosowane w tych etapach zostaną kolejno omówione.

3.1. Skanowanie

W pierwotnym rozwiązaniu skanowanie wykonywano poza omawianym systemem, wykorzystując program ED-Scan dostarczony przez producenta skanera. Dostępna dokumentacja nie pozwalała na inne rozwiązanie, nie zawierała też opisu formatu tworzonych plików. Uzyskane mapy bitowe ED-Scan zapisywał w rodzimym formacie skanera. Format ten, chociaż oznaczony symbolem PDF, nie miał nic wspólnego z bardzo dziś popularnym formatem firmy Adobe, a wobec braku dokumentacji strukturę tych plików trzeba było ustalić doświadczalnie.

Obecnie programista jest w o wiele lepszej sytuacji. Wszyscy producenci urządzeń obrazujących zaopatrują swe urządzenia w interfejs Twain obsługiwany przez rodzinę systemów operacyjnych firmy Microsoft. Podobna standaryzacja (pod nazwą SANE) istnieje w środowisku z rodziny Unix (wraz z Gnu/Linux). Nie ma problemu z dostępem do otwartego oprogramowania obsługującego obydwa standardy. WB zawiera już wbudowany moduł skanowania. Wykorzystano bibliotekę Delphi Twain, której autorem jest Gustavo Daud (Daud 2004).

3.2. Wyodrębnienie linii pomiarowej

Najważniejszym zadaniem, które należało rozwiązać, było oddzielenie zapisu pomiaru od siatki współrzędnych i innych zakłóceń. W pierwszej próbie rozwiązania problemu wykonywano skanowanie z bardzo małą głębią barw (8 barw). W przypadku termohigrogramów z siatką o jasnej barwie rozwiązanie to okazało się zadowalające, pozwoliło bowiem całkowicie wyeliminować obraz siatki. Znaczną część termohigrogramów

wykonano jednak na podkładach z siatką wydrukowaną czarną farbą lub powielonych techniką kserograficzną. Zeskanowany obraz siatki zawierał znaczną liczbę pikseli o barwie niebieskiej lub fioletowej, czyli takiej, jaka dominowała również w linii zapisu pomiarowego. Mimo zastosowania procedury filtracji digitalizacja tych obrazów okazała się uciążliwa i w praktyce bardziej opłacalne było przeniesienie zapisu na podkład bez siatki i poddanie dalszemu przetwarzaniu.

WB operuje kolorem 24-bitowym w modelu RGB, rzeczywista głębia barw zależy więc od parametrów skanowania. Barwę w tym modelu można zdefiniować jako trójwymiarowy wektor o składowych odpowiadających natężeniu barw podstawowych. Przy takiej reprezentacji łatwo można zastosować jakiś algorytm rozpoznawania. Po eksperymentach z kilkoma podkładami zdecydowano się zastosować sztuczną sieć neuronową z wsteczną propagacją błędów (Żurada i in. 1996). Wykorzystano prostą implementację takiej sieci w systemie Delphi (Pimiskern 1999). Wystarczająca okazała się sieć o bardzo prostej architekturze: trzy wejścia, pięć neuronów w warstwie ukrytej i jeden neuron w warstwie wyjściowej. Wejścia odpowiadają natężeniom barw składowych. Na wyjściu oczekuje się wartości 0 dla linii pomiarowej, 0,5 dla siatki i 1 dla barwy papieru. Uczenie polega na wskazaniu myszką na zeskanowanym obrazie pewnej liczby pikseli należących do poszczególnych klas (ryc. 2). Trening wystarczy przeprowadzić raz dla każdej serii pasków zapisanych tym samym tuszem na takich samych podkładach.

3.3. Transformacja współrzędnych

Ramiona piórek rejestratora mają stałą długość i poruszają się wokół ustalonej osi. Piórka rysują na papierze ułożonym wzdłuż poboczniczy wałka. Przy unieruchomionym mechanizmie zegarowym piórko zostawia ślad, który po wyprostowaniu paska staje się pewną krzywą, nieznacznie różniącą się od okręgu. Można wyznaczyć parametryczne równanie tej krzywej; obliczenia wskazują, że błąd na skali czasowej – wynikający z założenia, że krzywa ta jest okręgiem – nie przekracza 0,02 mm. Wobec grubości linii pomiarowej, przyjętej rozdzielczości skanowania i nieregularności mechanizmu zegarowego trzeba ów błąd uznać za zanedbywalnie mały.

Wychylenie wskazówki rejestratora to liniowa funkcja temperatury, podziałka termografu jest więc regularna. Inaczej ma się sprawa z podziałką higrografu. Należało stworzyć matematyczny model tej podziałki. Uzyskano zadowalające przybliżenie przy wykorzystaniu wielomianu 3. stopnia.

Przy obliczaniu poprawek w oparciu o punkty referencyjne (zob. podrozdz. 3.4) potrzebne jest odwzorowanie odwrotne. Aproksymacja wielomianowa nie daje tu dobrych wyników, ale dostarcza wartości startowej dla poszukiwania rozwiązania równania 3. stopnia metodą Newtona-Raphsona (Press i in. 1994).

Identyfikacja linii pomiarowej i transformacja współrzędnych wykonywane są równocześnie: dla każdego elementu obrazu zidentyfikowanego jako należącego do linii pomiarowej lub siatki współrzędnych dokonuje się transformacji współrzędnych i pod przekształconymi współrzędnymi zapisywane są elementy obrazu w nowej mapie bitowej. Piksele tej wewnętrznej reprezentacji mają tylko cztery poziomy („barwy”).

Trzy z nich to odpowiednio: tło, siatka i linia. Czwarty kolor pełni rolę pomocniczą w takich operacjach jak ścienianie linii. Tak uzyskana mapa bitowa jest wyświetlana w miejsce obrazu oryginalnego, przy użyciu barw umownych. Od użytkownika zależy, czy chce na tym etapie widzieć samą linię pomiarową, czy też ma być ona prezentowana na tle (wyprostowanej już) siatki współrzędnych.

3.4. Wprowadzanie punktów referencyjnych

Istnieje wiele czynników wpływających na błąd pomiaru: różne ułożenie paska na bębnie, nieregularność mechanizmu zegarowego, tarcie piórka o powierzchnię papieru, zła kalibracja termometru, a zwłaszcza higrometru. Dla uniknięcia błędów systematycznych konieczne jest wprowadzenie poprawek na podstawie wskazań przyrządów precyzyjnych. Obserwator, dokonawszy odczytu przyrządów precyzyjnych, wytrąca piórka samopisu z równowagi, co powoduje powstanie wyraźnych znaczników, zwanych reperami.

Podczas opracowania termohigrogramu operator wskazuje znaczniki (w powiększonym widoku) i wprowadza dane z protokołu (ryc. 3). Wartości te zostają zapamiętane i są wykorzystywane do obliczania poprawek podczas digitalizacji zapisu.

3.5. Wektoryzacja

Wstępem do wektoryzacji jest redukcja grubości linii pomiarowej do jednego piksela (ryc. 4). Dokonuje się to w procesie szkielestowania (ścieniania), zgodnie z tzw. klasycznym algorytmem (Pavlidis 1987). Następnie linia pomiarowa zostaje wektoryzowana. Zwykle bywa ona niespójna, dlatego zapamiętywana jest w postaci zbioru segmentów. Plamy, stemple i inne zakłócenia mogą być błędnie zinterpretowane jako segment linii. Prowadzi to do rozwidleń i wymaga od operatora wskazania, który segment jest właściwy. Małe zakłócenia są automatycznie odfiltrowywane.

Ostatecznie pozostają dwa ciągi segmentów – jeden dla zapisu wilgotności, drugi dla temperatury. W plikach tekstowych zapisywane są wartości z wybranym krokiem czasowym (zwykle co godzina). Dodatkowo zapisywane są maksymalne i minimalne wartości dobowe.

Na tym kończy się digitalizacja termohigrogramu.

3.6. Montaż

Pojedynczy termohigrogram dostarcza dobowego lub tygodniowego zestawienia zmian temperatury i wilgotności. Dla uzyskania zestawienia długoterminowego trzeba połączyć poszczególne zapisy w jedną całość. Choć czynność tę łatwo wykonać, używając np. arkusza kalkulacyjnego, to jednak jest ona dość żmudna, zwłaszcza gdy trzeba dokonać zestawienia rocznego. W związku z tym opracowano drugi program (o nazwie MIXER), który automatycznie kompletuje pliki znajdujące się we wskazanym folderze i tworzy odpowiednie zestawienie. Identyfikacja odbywa się na podstawie przyjętego schematu nazw plików. Przykładowo plik 'g301202.wlg' zawiera zapis zmian wilgotności ze stacji Gaik-Brzezowa, odczytany z paska termohigrogramu założonego 30 grudnia 2002 r. *Notabene* ten przykładowy plik zapisu tygodniowego będzie wy-

korzystany dwukrotnie: przy zestawieniu grudniowym z 2002 r., jak i styczniowym z 2003 r. Wynikowe zestawienie zapisywane jest w formacie tekstowym CSV, dzięki czemu może być łatwo dalej przetwarzane przy wykorzystaniu arkusza kalkulacyjnego.

4. Podsumowanie

Zrealizowane rozwiązanie wykazało się dużą użytecznością. W nowej wersji zachowano funkcjonalność WA, poprawiając skuteczność systemu w zakresie identyfikacji linii i podnosząc wygodę użytkowania. Obecne rozwiązanie jest niezależne od sprzętu i może być przeniesione do innych systemów operacyjnych. Łatwo udaje się dostosować program do zapisów z innych przyrządów (barograf, pluwiograf). Dotyczy to również zapisów z urządzeń niemających nic wspólnego z meteorologią, np. z aparatury medycznej (EKG, EEG). Możliwości takie sygnalizowano na krajowej konferencji „Komputery w medycynie” (Jawień 1994). Prezentacja ta stanowiła inspirację do analogicznego rozwiązania zrealizowanego w Instytucie Techniki i Aparatury Medycznej do analizy zapisów kardiokokograficznych.

Opisane oprogramowanie jest potrzebne do zdigitalizowania dużej liczby termohigrogramów przechowywanych w archiwach. Zaniechanie tej pracy spowoduje całkowitą utratę dla badań klimatycznych starszych danych, które istnieją jedynie w zapisie analogowym.

Literatura

- Daud G., 2004, *Delphi Twain*, <http://delphitwain.sourceforge.net>.
- Jawień W., 1994, *Możliwość wykorzystania skanera do analizy archiwalnych danych z rejestratorów samopiszących*, [w:] III Krajowa Konferencja „Komputery w medycynie”, Łódź, 23-24 czerwca 1994.
- Pavlidis T., 1987, *Grafika i przetwarzanie obrazów. Algorytmy*, WNT, Warszawa.
- Pimiskern J., 1999, *TFeedForward3. Eine Object Pascal – Klasse für Dreischicht-Backpropagation*, <http://www.augos.com/software/feedfwd3.html>.
- Press W.H., Flannery B.P., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., 1994, *Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Żurada J., Barski M., Jędrych W., 1996, *Sztuczne sieci neuronowe. Podstawy teorii i zastosowania*, PWN, Warszawa.

Methods of digital processing of the thermohigrograms

Summary

The paper presents assumptions, elements and performance of software for the digital processing of the thermohigrograms. That includes scanning, inserting the reference measurement values, transformation of the lines and creating the output files. The software allows quick acquisition of hourly values of air temperature and humidity and creates e.g. monthly reports.

Translated by the authors

*Alicja Grzyborowska
Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Gronostajowa 7
30-387 Kraków
email: a.grzyborowska@geo.uj.edu.pl*

*Wojciech Jawień
Uniwersytet Jagielloński
Collegium Medicum
Wydział Farmaceutyczny
Zakład Farmakokinetiki i Farmacji Fizycznej
ul. Medyczna 9
30-688 Kraków
email: wojciech.jawien@uj.edu.pl*