HỆ THỐNG HYDROGIS ĐỂ DỰ BÁO ĐỘNG THÁI VẬN CHUYỂN VÀ NGẬP NƯỚC VÙNG HẠ DU CÁC HỆ THỐNG SÔNG

PTS. Nguyễn Hữu Nhân
Trung tâm Khí tượng Thủy văn phía Nam
SV. Hồ Ngọc Điệp
Đại học quốc gia, TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt

Trên cơ sở phân tích các mô hình tính lũ đang áp dụng tại vùng hạ du sông Mekong và nhu cầu thực tiễn của công tác kiểm soát nguồn nước mặt, chúng tôi đã phát triển một hệ thống tin học ứng dụng HYDROGIS nhằm hỗ trợ công tác dự báo và kiểm soát lũ cũng như động thái ngập và vận chuyển nước do triều.

HYDROGIS là hệ thống kết hợp giữa một GIS đặc dụng và các mô hình số trị về thủy động lực học. Các trình con trợ giúp việc nhập, biên tập, xử lý các thông tin địa lý, địa hình, khí tượng thủy văn trên mạng sông rạch và các vùng ngập nước làm việc song hành với các trình con về dự báo thủy lực và các trình con thiết kế các bản đồ về động thái ngập và vận chuyển nước. HYDROGIS giúp chúng ta tránh được sai sót chủ quan khi nạp số liệu xấp xỉ miền khảo sát, tăng tốc độ lập các bản đồ kết quả: hai khâu khó nhất và tốn nhiều thì giờ nhất khi dùng mô hình số trị để thực thi dự báo. Hệ thống này đã cho các kết quả đầu tiên trong quá trình tính ngập triều ở huyện Thủ Đức TP. Hồ Chí Minh. Hy vọng HYDROGIS là công cụ trợ giúp đắc lực cho công tác dự báo số trị về ngập và vận chuyển nước do lũ và triều trên vùng hạ du các hệ thống sông Việt Nam.

1. Mở đầu

Một phần rất lớn dân cư Việt Nam sinh sống trên các khu vực chịu ảnh hưởng lũ lụt và thủy triều. Dự báo động thái ngập lụt, lan truyền lũ trên các cánh đồng, lan truyền triều trong miền đất ướt là một nhiệm vụ quan trọng của các nhà khoa học khí tượng thủy văn nước ta. Dù đã có nhiều công trình nghiên cứu, công tác này vẫn còn rất nhiều vấn đề chưa giải quyết tốt. Điểm yếu nhất là sự liên kết các cơ sở dữ liệu thông tin địa lý (GIS) với các mô hình thủy lực. Hầu hết các thông số nhập cho mô hình toán làm việc đều được biên tập theo cách thức thủ công kém hiệu quả và kém chính xác. Chúng tôi đã phát triển một hệ thống cho phép tự động hoá cao độ từ khâu chuẩn bị số liệu, chạy mô hình dự báo cho đến in các loại bản đồ dự báo trên máy vi tính. Xin chia sẻ cùng các đồng nghiệp về một số kết qủa ban đầu của chúng tôi.

2. Các cơ sở lý thuyết

Hiện có nhiều mô hình tính lũ cho phần hạ du các hệ thống sông. Chỉ riêng đối với hạ du sông Mekong cũng có thể kể ra các mô hình như: VRSAP (của cố GS.

Nguyễn Như Khuê), KOD (của GS. Nguyễn Ân Niên), TLUC (của PGS. Nguyễn Tất Đắc), SOGREAH (hãng SOGREAH, Pháp), MASTER MODEL (Delft Hydraulics, Hà Lan). Trong số đó SOGREAH là gần nhất với các ý tưởng dự báo ngập lụt do lũ lụt. Tuy vậy, do hoàn cảnh ra đời sớm (1972), SOGREAH không thích hợp để khai thác trên các hệ thống công nghệ thông tin hiện đại.

Chúng tôi thiết nghĩ, ứng dụng các phương tiện và công cụ tin học mới là hướng tối ưu để nâng cao chất lượng và tính khả dụng của mô hình số trị dự báo động thái ngập và vận chuyển nước do lũ và triều. Chỉ có như vậy, việc kết nối giữa các hệ thống thông tin địa lý (GIS) với các mô hình thủy động lực học mới có tính khả thi và hiệu quả. Đó chính là lý do để chúng tôi phát triển HYDROGIS.

Về cấu trúc, HYDROGIS là hệ thống kết hợp giữa một GIS đặc dụng và các mô hình số trị về thủy động lực vùng ngập nước do lũ và triều. Hiện nay qui mô của nó còn khiêm tốn và có thể khai thác trên các máy vi tính Pentium trong hệ điều hành WinDows 95.

Có thể tóm tắt quy tắc lập các mối quan hệ giữa các đối tượng được HYDROGIS xử lý như sau:

1. Hai đơn tử cơ bản (đối tượng cơ bản) của hệ thống dự báo động thái vận chuyển và ngập nước là ô chứa (gọi tắt là ô) và mặt cắt ướt cắt ngang sông rạch (gọi tắt là mặt cắt). Ô có hình dạng bất kỳ (nhưng không đổi theo thời gian) xếp liên tiếp bên nhau và phủ kín toàn bộ vùng không gian nghiên cứu. Các mặt cắt là các hình thang (có diện tích biến đổi tuỳ ý theo thời gian) xếp nối tiếp nhau thành các dãy và xấp xỉ các con sông, kênh, rạch nằm trên vùng khảo sát. Ô có thể luôn bị ngập, có thể ngập ở một số thời điểm hay không bao giờ ngập nước. Ngược lại, đáy các mặt cắt luôn ngập nước.

2. Mỗi ô có các thuộc tính riêng của nó như: tên, toạ độ tâm, cao trình đáy, cao trình bờ bao, đường biên (vị trí và độ dài) với các ô khác, diện tích, thể tích nước, mực nước, hệ số Manning trên đường biên với các ô khác, lưu lượng và lưu lượng dòng chảy ra/ vào các ô bên cạnh, tên các ô có chung đường biên, tên các mặt cắt mà nó có liên quan, lưu lượng và lưu hướng trao đổi nước giữa nó và các mặt cắt sông rạch, lượng mưa....

3. Kết cấu giữa các ô được lập ra trên cơ sở các điểm (point), đường (line) và vùng (polygon) địa lý và các bảng số ghi các thuộc tính khác của các ô.Đó chính là cơ sở dữ liệu cơ bản về ô.

4. Sự tương tác thủy lực giữa các ô với nhau tuân theo quy luật bảo tồn khối lượng và xung lượng. Theo kinh nghiệm tích luỹ được trong nhiều thập kỷ nghiên cứu, đối với trường hợp này, các quy luật trên được mô phỏng bởi phương trình liên tục và công thức Manning về chảy ngập hay chảy tự do giữa các ô:

$$\Omega_i \frac{d\zeta_i}{dt} = \sum_{j=1}^{Jn} Q_{ij} + P_i - q_i,$$

$$Q_{ij} = \text{sign}[\zeta_j - \zeta_i]\sqrt{|\zeta_j - \zeta_i|}\,\frac{A_{ij}R_{ij}^{2/3}}{n_{ij}d_{ij}} \quad \text{khi } \zeta_i - Z_d \geq \frac{2(\zeta_j - Z_d)}{3} \quad \text{(chảy ngập)},$$

$$Q_{ij} = 0{,}386\,\text{sign}[\zeta_j - \zeta_i]\sqrt{\zeta_i - Z_d}\,\frac{A_{ij}R_{ij}^{2/3}}{n_{ij}d_{ij}} \quad \text{khi } \zeta_i - Z_d < \frac{2(\zeta_j - Z_d)}{3} \quad \text{(chảy tự do)} \quad (1)$$

trong đó:
- ζ là cao trình mực nước ô;
-Ω là diện tích ô;
- Q_{ij} là lưu lượng trao đổi giữa ô i và ô j;
-A là diện tích ướt trên biên giữa ô i và ô j;
-g là gia tốc trọng trường;
- t là thời gian;
- q_i là tổng lưu lượng trao đổi giữa ô i và các mặt cắt sông rạch liên hệ;
- n_{ij} là hệ số Manning trên biên giữa ô i và j;
- P_i lượng mưa tại chỗ;
- d_{ij} là khoảng cách giữa tâm ô i và j;
- Z_d là ngưỡng tràn bờ từ ô j sang ô i
- R_{ij} là bán kính thủy lực trên biên ô i và j.

5. Mỗi mặt cắt cũng có các thuộc tính của riêng nó như: tên, toạ độ tâm, cao trình đáy, bề rộng đáy, độ dốc bờ phải và bờ trái, diện tích ướt, bán kính thủy lực, chu vi ướt, cao trình bờ, cao trình mực nước, hệ số Manning, lưu lượng dòng chảy đi qua nó, tên các ô liên hệ với nó, tên các mặt cắt mà nó có liên quan, lưu lượng trao đổi giữa nó và các ô chứa.

6. Kết cấu hình thái giữa các mặt cắt trong HYDROGIS được lập ra trên cơ sở các điểm, đường, vùng địa lý và các bảng số lưu giữ các thuộc tính thủy lực, hình thái và địa lý của mặt cắt. Đó chính là cơ sở dữ liệu cơ bản về mặt cắt.

7. Sự trao đổi vật chất và xung lượng giữa các mặt cắt với nhau có thể mô phỏng bởi hệ phương trình Saint - Venant và phương trình cân bằng độ mặn có dạng như sau:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_c,$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{g|Q|Q}{ARC^2} - C_w B W_x^2 - \alpha g A R \frac{\partial S}{\partial x}, \qquad (2)$$

$$\frac{\partial AS}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(QS - E_s A\frac{\partial S}{\partial x}\right) = -q_c(S - S_b) \qquad (3)$$

trong đó:
- Q là lưu lượng ;
- q_c là lưu lượng gia nhập / thất thoát trên một đơn vị độ dài sông;
- B là bề rộng mặt sông;
- C là hệ số Chezy;
- S là độ mặn trong sông;
- S_b là độ mặn của nước gia nhập/ thất thoát;
- R là bán kính thủy lực;
- α là hệ số thực nghiệm;
- C_w là hệ số ma sát gió lên mặt nước;

- E_s là hệ số tán xạ muối;
- W_x là thành phần vận tốc gió chiếu lên trục x.

8. Sự tương tác giữa các ô và các mặt cắt được kết nối qua q_c. Như vậy, hệ phương trình (1) - (3) đã khép kín đối với 3 ẩn số: Q, ζ và S. Các biến số còn lại tính theo chúng và các dữ liệu địa hình và khí tượng thủy văn (được xem là biết trước). Các phương trình nêu trên đều phi tuyến. Ngoài điều kiện đầu, các phương trình (2) và (3) còn đòi hỏi điều kiện biên dạng như sau:

Tại các cửa sông:

- $\zeta(t) = Z_s(t)$, $S(t) = Ss(t)$, khi nước chảy từ biển vào sông.

Tại các điểm đầu nguồn:

- $Q(t) = Q_o(t)$,
- $S(t) = 0$, khi nước chảy từ nguồn vào mạng sông.

Tại nút hợp lưu các nhánh sông:

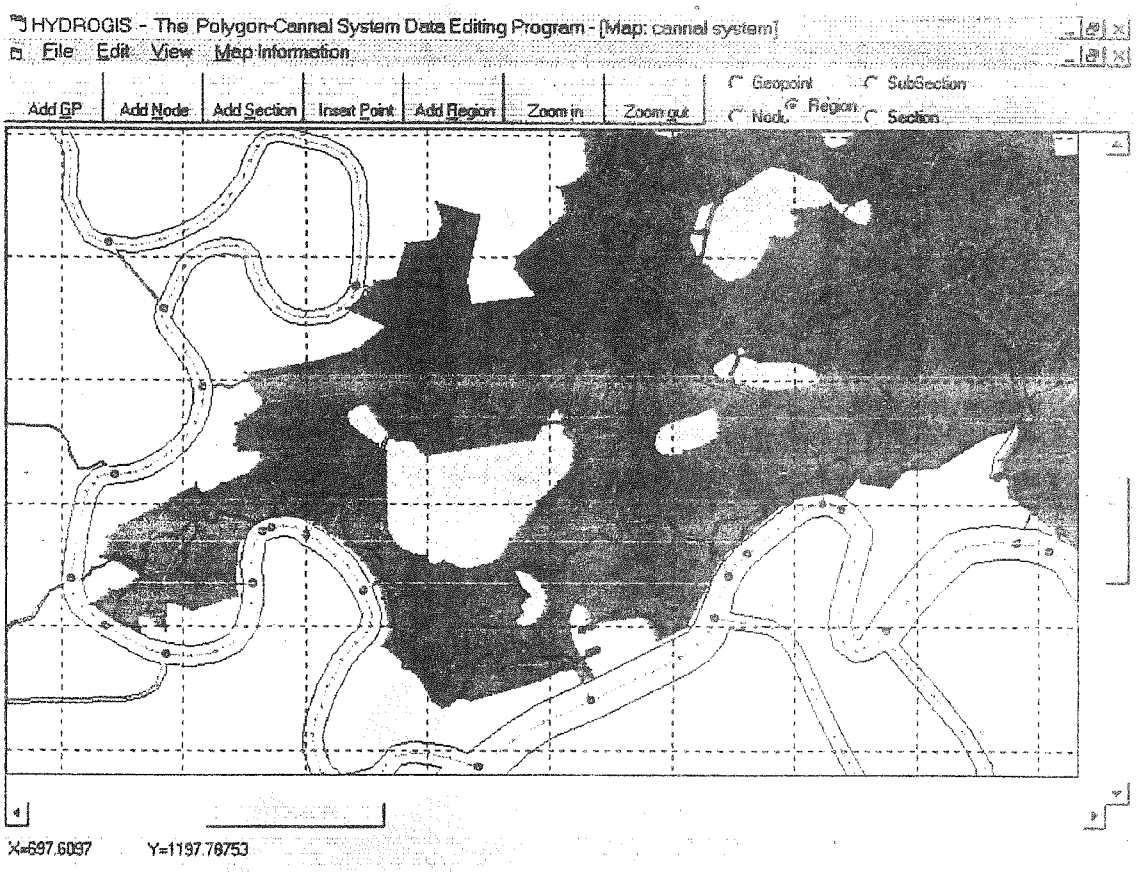
- Mực nước tại mút các nhánh sông trong mạng có chung nút là như nhau,
- Tổng đại số lưu lượng nước ra/vào một nút hợp lưu bằng không,
- Tổng đại số các dòng muối ra/vào một nút hợp lưu cũng bằng không.

Ở đây: Z_s là trị số mực nước tại một thời điểm trên các cửa sông và S_s là độ mặn ngoài biển.

3. Các giải pháp kỹ thuật

Chúng ta dễ dàng nhận ra, các cơ sở lý luận nêu trên không có gì mới và có thể tìm thấy các chỉ dẫn chi tiết về chúng trong các tài liệu giáo khoa. Điều mấu chốt là độ tin cậy, qui mô không - thời gian và tốc độ vận hành hệ thống nói trên để có thể làm dự báo. Thông thường, tốc độ các khâu chuẩn bị số liệu xuất/nhập (nhất là biên và lập bản đồ ngập) là quá chậm lại hay bị lầm lẫn (vì quá nhiều). Điều này giải thích vì sao các mô hình hiện đang thịnh hành chỉ có thể chạy hoàn nguyên các trận lũ đã có và chưa thể đem vào tác nghiệp trong dự báo thủy văn. HYDROGIS là hệ thống khắc phục được nhược điểm này vì nó là một hệ thống kép: đồng thời làm công tác thực nghiệm số trị trên các mô hình thủy lực không dừng và công tác của một hệ thống quản lý dữ liệu địa lý (GIS) đặc dụng trên cùng một cơ sở dữ liệu. Như ta đều biết ưu điểm, sức mạnh và hiệu qủa một hệ thống kép như vậy là rất lớn (thường gấp nhiều lần so với trường hợp chúng được dùng riêng rẽ).

Trong HYDROGIS có các trình con chuyên trợ giúp việc nhập, biên tập, xử lý các thông tin địa lý, địa hình, khí tượng thủy văn trên mạng sông rạch và các vùng ngập nước. Ví dụ, việc nạp số liệu về một mạng sông và các khu chứa thực hiện qua giao diện trên các cửa sổ nhập số liệu (cả dạng bảng và dạng bản đồ số có nghĩa), các thực đơn, các hộp thoại, các nút bấm được thể hiện như trên hình sau:

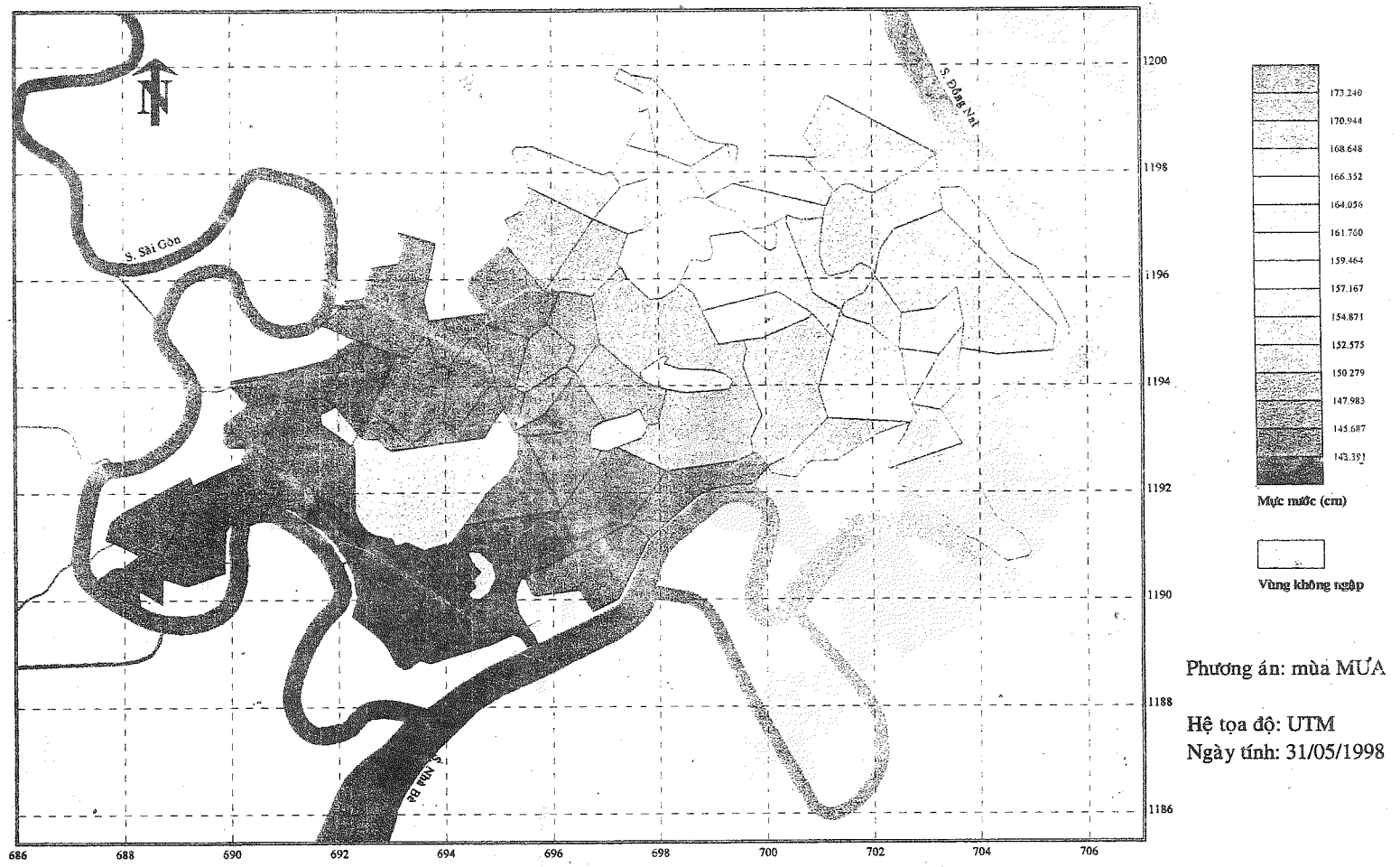


Trong HYDROGIS lại có các trình con đặc dụng tự động tính toán khoảng cách, diện tích, các thuộc tính hình học khác cho từng đơn tử và tiếp theo là tự động xác lập các mối quan hệ giữa các đơn tử với nhau và xuất ra một cơ sở dữ liệu làm đầu vào cho các trình con về thuỷ động lực học hoạt động nhằm dự báo các thông số thủy văn và môi trường trên sông rạch và các vùng ngập biến đổi liên tục theo thời gian.

Nhân đây xin điểm qua nội dung công việc mà các trình con về thủy động lực phải thực hiện như sau:

1. Hệ các phương trình (1) đến (3) được giải một cách liên hoàn trong một số vòng lặp khép kín cho tới khi sai số tính toán nhỏ hơn sai số cho phép vì các sơ đồ sai phân cho các phương trình thủy lực trong HYDROGIS là các sơ đồ ẩn hoàn toàn. Trong đó, cần nói thêm là:

H.1. Cao trình mực nước cao nhất trong 1 chu kỳ triều cường tại khu vực Thủ Đức



Phương án: mùa MƯA

Hệ tọa độ: UTM
Ngày tính: 31/05/1998

- Hệ phương trình Saint - Venant được xấp xỉ theo sơ đồ ẩn 4 điểm Freissmann (đã trở thành thông dụng). Hệ phương trình sai phân tìm ra được giải bằng phương pháp truy hồi. Hệ phương trình nút mạng sông rạch được giải bằng phương pháp khử GAUSS nhanh.

- Phương trình truyền mặn xấp xỉ theo phương pháp phân rã theo vật lý thành hai phần: tải và khuếch tán thuần tuý.Thành phần tải giải theo phương pháp đường đặc trưng, trong khi phần khuếch tán giải bằng phương pháp truy hồi 3 điểm.

- Hệ phương trình các liên hệ giữa các ô (1) được giải theo phương pháp Newton - Taylor.

2. Phần dự báo biên mực nước và mặn tại các cửa sông được tự động hoá hoàn toàn khi cho biết giờ, ngày, tháng và năm bắt đầu dự báo và số liệu về gió, mưa và lưu lượng nhập vào đầu nguồn. Thông thường, các hằng số thiên văn và hằng số điều hoà của thủy triều được tính ra một cách khá chính xác. Trong khi đó ảnh hưởng của gió và các thông số khác lên mực nước trên biên ngoài cửa biển được tham số hoá qua các quan hệ thực nghiệm sẽ kém chính xác hơn.

3. Các thông số khí tượng thủy văn khác phải nạp cho mỗi ngày dự báo. Không có hạn định nào về thời khoảng dự báo.

4. Các thông số địa lý, địa chất, địa hình chỉ cần nạp một lần. Khi cần thêm hay bớt các mặt cắt hay ô chứa hay hiệu chỉnh lại chúng, ta chỉ cần thông báo cho HYDROGIS biết để nó cung cấp các phương tiện trợ giúp để giải quyết nhanh các vấn đề này.

Các trình con về thủy động lực học hoàn thành công tác trong một khoảng thời gian ngắn (chỉ mất 5 phút cho mạng sông 2.000 mặt cắt và 200 ô chứa để dự báo 5 ngày trên máy Pentium tốc độ 200MHz với bước tính theo thời gian 1800 giây.

Tiếp theo, các trình con khác của HYDROGIS sẽ lập ra các bản đồ dự báo trên màn hình (dưới dạng chiếu phim) và máy in (các bản đồ màu trên toạ độ thực - UTM, tỷ lệ tuỳ ý). Quá trình này mất thêm 5 - 20 phút tuỳ theo số lượng bản đồ mà người dùng muốn in giấy và tốc độ máy in. Trên các hình H.1 là bản đồ về động thái ngập và vận chuyển nước tại khu vực Thủ Đức do HYDROGIS tạo ra. Bàn về độ chính xác của các bản đồ này sẽ vượt ra khuôn khổ bài viết này. Xin quý vị xem thêm trong các công trình [1,2] hay một dịp khác trên tạp chí này.

4. Kết luận

Chúng tôi chỉ kịp nói những nét chính của hệ thống trợ giúp HYDROGIS. Có thể nghĩ rằng việc nó ra đời và cho các sản phẩm dự báo đầu tiên có ý nghĩa thực tiễn rất lớn. Nó làm cho chúng ta tự tin hơn khi nghĩ đến một ngày rất gần đây công tác dự báo và kiểm soát lũ lụt trên tại hạ du sông lớn của Việt Nam bằng mô hình số trị trên máy vi tính là hoàn toàn có thể làm được. Chúng tôi hy vọng nhận được ý kiến đóng góp của các chuyên gia và các nhà quản lý để HYDROGIS hoàn thiện hơn.

(xem tiếp trang 27)

2.6. Kiểm định mô hình

Mô hình được kiểm định cho cả một thời kỳ 1961 - 1972, các thông số được xác định theo thuật toán tối ưu hoá Rosenbroc trên nguyên lý phức tạp hóa dần mô hình mà thực chất là tối ưu hoá theo từng giai đoạn. Thoạt đầu, thử nghiệm mô hình đơn giản, bao gồm các thông số tối thiểu. Trên cơ sở đã tối ưu được các thông số đó, mô hình được chính xác hoá nhờ việc đưa dần thêm các thông số mới cho đến khi đạt độ chính xác cần thiết.

Hàm mục tiêu của quá trình tối ưu như sau:

$$K = \sum_{0}^{N} \int^{T} [\, Q_{do}(t) - Q_{tính\ toán}(t,A)\,]^2 . Q_{do} . dt = f(A) \longrightarrow \min \qquad (10)$$

trong đó N - tổng số trận lũ đưa vào tối ưu, T - thời gian một trận lũ, A - véctơ thông số mô hình A.

Một trong những kết quả kiểm định cho trên hình 2.

Tài liệu tham khảo

1. J.P. Carbonnel, J. Guiscafre. Le Grand Lac du Cambodge. Se'dimentologie et Hydrologie. Publication de l' ORSTOM, 1965.
2. Mekong Master Model. - Delft Hydraulics,Volume 1,2,3,4 August 1991.
3. Lower Mekong Hydrologic Yearbook . Volume 1,2 (1961-1992).
4. Trịnh Quang Hòa. Mô hình hoá dòng chảy hạ lưu Mekong.- Tập bài giảng cho các lớp cao học ngành Thủy văn môi trường. Đại học Thủy lợi, 1994.

(tiếp theo trang 7)

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Hữu Nhân (1995). Mô hình dự báo mực nước tổng hợp trên các cửa sông Cửu Long. Dự án dự báo xâm nhập mặn vùng ĐBSCL giai đoạn 3. Ban thư ký sông Mekong. Bangkok, Thailand.

2. Nguyễn Hữu Nhân, Hồ Ngọc Điệp (1997). SALOWIN (Phần mềm dự báo xâm nhập mặn và lan truyền dầu, báo cáo kỹ thuật và bản hướng dẫn sử dụng). Sở KHCN và MT, tp. Hồ Chí Minh.

3. Nguyễn Tất Đắc (1996). Mô hình TLUC 96 để tính lũ ĐBSCL. Báo cáo tại hội thảo mô hình tính lũ ĐBSCL. Tháng 6-1996, tp. Hồ Chí Minh.

4. Nguyen Nhu Khue (1986). Modelling of tidal propagation and salinity intrusion in Mekong main estuarine system. Technical Paper. Mekong Secretariat.

5. Nguyễn Ân Niên (1996). Mô hình KOD để tính lũ vùng ĐBSCL. Báo cáo tại hội thảo mô hình tính lũ ĐBSCL. Tháng 6 -1996, tp. Hồ Chí Minh.

6. SOGREAH (1972). Les modeles mathematiques du delta Mekong.Publ.de ÍUNESCO, Paris.

7. Mekong master model (1991) . Delft Hydraulics. Vol.: 1,2,3,4.