

HAZAI MŰSZERÚJDONSÁGOK

Kisszámítógépek méréstechnikai alkalmazásai a Budapesti Műszaki Egyetem Műszer- és Méréstechnika Tanszékén

A Tanszék kisszámítógépek méréstechnikai alkalmazásával kapcsolatos oktatási és tudományos kutatási munkája három csoportba sorolható:

- a) Különböző számítástechnikai és méréstechnikai berendezések kifejlesztése és illesztése kisszámítógépekhez, jelenleg elsősorban a magyar gyártmányú *TPAi* kisszámítógéphez. A legfontosabbak: a mágneslemez tároló a *TPA* és *TPAi* kisszámítógépekhez, az ismétlőüzemű analóg számítógép, a hibrid csatolóegység, a telex-vonalra csatlakozó automatikus távmérő és távvezérlő berendezés.
- b) A rendelkezésre álló berendezésekből létrehozott rendszerek működtetéséhez szükséges programok, programrendszerek kifejlesztése. Az egyes készülékek működtető programjának általános operációs programokba való software-illesztése.
- c) Mérési adatok értékelését és feldolgozását végző programok és programrendszerek kifejlesztése.

A felsoroltak közül két témát részletesebben ismertetünk:

- a hibrid számítórendszert és
- az automatikus távmérő és távvezérlő rendszert.

I. Hibrid számítórendszer és méréstechnikai alkalmazása

A Tanszéken 1973-ban üzembe helyeztük az oktatási célra készült hibrid számítórendszert. A rendszer saját fejlesztésű analóg gépe harmadik generációs, monolit analóg és digitális aktív áramköri elemekkel, speciális vékonyréteg létrahálózatokkal, újszerű áramköri megoldásaival összemérhető a mai legkorszerűbb külföldi gépekkel; egyes vonatkozásokban, pl. a műveleti sebesség tekintetében felülmúlja azokat. A hibrid rendszer digitális egysége a tanszéken telepített *TPAi* típusú, magyar gyártmányú kisszámítógép. A két gép együttműködését biztosító hibrid csatolóegységet szintén a tanszéken dolgoztuk ki. A csatolóegység sokoldalú belső programozhatósága magas fokú autonómiát biztosít, és lehetővé teszi, hogy az analóg géppel való együttműködésen kívül általános célú mérőperifériaként is szolgáljon. Így valamely analóg (pl. technológiai) folyamat és a hibrid rendszer közötti közvetlen információcsere is lehetséges.

Röviden összefoglaljuk a hibrid rendszer tulajdonságait, és rámutatunk arra, hogy az ilyen rendszer milyen különleges méréstechnikai lehetőségeket kínál.

A hibrid csatolóegység jellemzői

A hibrid csatolóegység, digitális számítógép nélkül, saját beviteli egységéről vezérelve is lehe-

tövé teszi a hozzákapcsolódó analóg gép magas-szintű hibrid-analóg üzemét. A hibrid csatoló-egység több, önálló perifériacímmel rendelkező, programozható alegységből áll.

- a) Az analóg-digitál adatátviteli csatornarendszer az analóg számítási eredményeket digitális alakban állítja elő és továbbítja azokat. A csatornarendszer analóg bemenetei gyors működésű analóg multiplexerre csatlakoznak, amelyet egy szukcesszív approximációs elven működő, gyors A/D átalakító követ. A teljes csatornarendszer 4 db, egyenként 16 bemenetű multiplexer analóg-digitál átalakító egységet tartalmazhat.
- b) A digitál-analóg adatátviteli csatornarendszer a digitális számítási eredményeket továbbítja és analóg alakban állítja elő azokat. E csoportba három átalakító típus tartozik.

- A digitál-analóg átalakítók 11 bites, kettes komplement ábrázolásban megadott számjegyes információt alakítanak át ± 10 V-os tartományban feszültséggé. A D/A átalakítókban kettős bemeneti regiszter van.
- Az interpoláló digitál-analóg átalakítók számjegyes formában megadott időfüggvények jobb megjelenítését teszik lehetővé azáltal, hogy az egyes pontok között a pontokat összekötő, lineárisan változó feszültséget generálnak. A pontok közötti egyenes szakaszok meredekségét a függvény tárolt pontjai alapján a digitális gép számítja ki.
- A digitális potenciométerek számjegyes formában vezérelhetők, ± 10 V-os feszültségtartományon belüli jelek 11 bites leosztását teszik lehetővé.

A teljes digitál-analóg adatátviteli rendszer 64 átalakítót tud befogadni.

- c) A vezérlésátviteli csatornarendszer az analóg és a digitális számítógép közötti kölcsönös vezérlés lehetőségét teremti meg. A vezérlő vonalakra a digitális számítógép akkumulátorából lehet az analóg számítógép vezérlésére szolgáló logikai információt kivinni. Az érzékelő vonalakra adott és az analóg gép állapotára jellemző állapotstót a digitális számítógép akkumulátorába lehet be-

olvasni, és így a digitális gépben futó program irányítására felhasználni. A program megszakítást kérő vonalak olyan speciális érzékelő vonalak, melyek az analóg oldalon megjelenő logikai jelek hatására program megszakítást kezdeményeznek.

- d) Az illesztőegység a hibrid csatolóegység és a digitális számítógép közötti illesztést végzi: végrehajtja a szükséges kód-konverziókat, formátummódosításokat, előállítja a szükséges állapotjelző jeleket stb. Az illesztőegység egyik elkészült változata a TPAi kisszámítógéppel, a másik pedig az ugyancsak magyar gyártmányú R-10 számítógéppel való kapcsolatot teremti meg.

Hibrid software

Célunk olyan programrendszer kidolgozása volt, amely — lehetőleg megtartva az assembly szintű programok hatékonyságát — a rendszert az átlag felhasználó részére is hozzáférhetővé teszi. A kidolgozott magasabb szintű programozási rendszer alapját a TPA számítógép FORTRAN/SLANG-3 programnyelve képezi. A programozási rendszerben a legmagasabb hierarchiával a HYBRID EXECUTIVE (HEX) rendelkezik. Valamennyi kezelő program és FORTRAN nyelven írt felhasználói program működésének irányítása a HEX-en keresztül történik.

A HEX szervező programjai a rendszer interaktív kezelésére szolgálnak. Mind a kezelő programok, mind a felhasználói programok hívó-kódokkal léptethetők be. A kezelő programok párbeszéd felépítésűek, és ellenőrzött karakterekkel dolgoznak, így az operátorra rákényszerítik a formailag helyes válaszokat. Az operátor a futó programba bárhol be tud avatkozni, paramétereket tud módosítani, közbenső vagy végeredményeket tud kiíratni, programokat tud cserélni stb.

A rendszerbe számos hibrid szubrutin épült be, amelyek beilleszkednek a FORTRAN szubrutin könyvtárába, és a szokásos külső szubrutin-hívással léptethetők be. Ide tartoznak egyrészt azok az alapvető rutinok, amelyek az analóg gép, valamint a hibrid csatolóegység működtetésére szolgálnak (A/D, D/A átalakítók, interpoláló

D/A átalakítók, vezérlő vonalak stb.), másrészt olyan adatkonverziós rutinok, amelyek az analóg gép adatformátumának megfelelő átalakításokat végzik.

A hibridüzemigényeihez igazodva a *FORTRAN* nyelven írt programok iniciálása, valamint a számítás eredményeinek kihozatala a *HEX* kezelő programjaival történhet. A kezelő programok, egész, valós, oktális vagy fixpontos decimális tört alakjában adott számokat kezelnek, interaktív ellenőrzött módon. Az adatbevitel billentyűzetről, valamint *ASCII* kódú vagy bináris adatszagról történhet. Adatkivitelnél kiíratás vagy lyukasztás között lehet választani. A kezelés kényelmét segíti elő, hogy az eredeti szubrutinkönyvtárat *display* kezelő programmal is bővítettük.

Az időfüggvények mintavételezett pontjainak tárolására szolgáló adatmező úgyszintén ezen programrendszeren keresztül kezelhető. Széles határok között változtatható ismétlődési idővel lehetőség van időfüggvények mintavételes mérésére, a pontok táblázatos kiíratására vagy lyukszalagon való rögzítésére, valamint az interpoláló D/A átalakítón keresztül történő megjelenítésére.

A nagy sebességű analóg géppel való hibrid üzemben nehézséget okozhat a *FORTRAN* külsőszubrutin hívásnak lassúsága. Ennek kiküszöbölésére a compiler-t első lépésben olyan módon bővítettük, hogy a *FORTRAN* programokba közvetlenül behívhatók legyenek assembly szintű utasítások is. A nagysebességű végrehajtást igénylő utasítások (átalakítási parancsok, időzítő utasítások stb.) így közvetlenül beépíthetők a programokba. A programrendszer lehetővé teszi a mágneslemez tároló kezelését is.

A háttértárat részint programszegmensek, részint adatmezők tárolására használjuk. A hibrid software további részét olyan célprogramok képezik, amelyek a hibrid számítástechnikában leggyakrabban előforduló feladatok megoldására alkalmasak. Ide tartoznak a statisztikai analízis módszereit alkalmazó mérésadatértékelő programok, a különféle stratégiák szerint felépített optimalizációs programok, numerikus integrálszubrutinok és szimulációs célprogramok. A felmerülő problémáknak megfelelően ez a készlet folyamatosan bővül. A kialakított hibrid software rendszert hibakereső és tesztprogramok egészítik ki.

A hibrid számítórendszer alkalmazása

Összetett, bonyolult szerkezetek vagy dinamikus rendszerek jellemzőinek mérés-technikai meghatározása sok esetben nagy nehézségekbe ütközik. A rendszer viselkedését elméletileg egy feltételezett modellel írjuk le, amelyet vagy helyettesítőképpel vagy matematikai struktúrával adunk meg. A méréssel meghatározandó jellemzők ennek a modellnek a paraméterei. A rendszeren közvetlenül mérhető fizikai mennyiségek többnyire csak implicit tartalmaznak ezeket a jellemzőket. A legritkább esetben lehetséges a rendszeren annyi és olyan független mérést végezni, hogy az egyes modell-paramétereket elemi számításokkal a mért adatokból közvetlenül meghatározhassuk.

A mérés-technikai feladat tehát lényegében rendszer- és paraméter-identifikációnak tekintendő. A rendszer-identifikáció, azaz a modellválasztás többnyire spekulatív úton, a rendszer tulajdonságairól alkotott hozzávetőleges elképzelés alapján is lehetséges; bonyolultabb esetben a paraméter-identifikáció eredményeinek értékelésén alapuló struktúramódosítással és ismételt paraméter-identifikációval fokozatosan végezhető el.

A paraméter-identifikáció mérés-technikai szempontból a legáltalánosabb összehasonlító mérési feladat. A valóságos rendszert és a feltételezett modellt azonos és jellemző módon gerjesztve, a modell paramétereit addig kell változtatni, amíg a két rendszer kimeneti jelei minimális hibával meg nem egyeznek. A hiba konkrét kifejezése az adott probléma követelményeitől függ: fogalmilag a két kimeneti jel különbségéből képzett minimalizálandó célfüggvény.

Ilyen feladatok megoldására a hibrid számítórendszer különösen alkalmas. Az analóg számítógépen igen bonyolult modellek egyszerű eszközökkel realizálhatók, amelyeknek az általunk kiválasztott paramétereit a hibrid csatolóegységen keresztül automatikusan változtatni tudjuk. A hiba minimalizálást eredményező paraméter-változtatási stratégiát a digitális gépen könnyen programozhatjuk.

A lehetőségek érzékeltetésére a tanszéken demonstrációs programot dolgoztunk ki. Ismeretlen dinamikai rendszerként két, egymással csatolásban levő mechanikai lengő rendszert választottunk. A rendszer leírására modellként a

$$\ddot{x}(t) + A_1\dot{x}(t) + A_2x(t) + A_3\dot{y}(t) + A_4y(t) = 0;$$

$$x(0) = x_0, \dot{x}(0) = 0$$

$$\ddot{y}(t) + B_1\dot{y}(t) + B_2y(t) + B_3\dot{x}(t) + B_4x(t) = 0;$$

$$y(0) = 0, \dot{y}(0) = 0$$

kétismeretlenes, másodrendű, állandó együtthatós, lineáris, homogén differenciálegyenlet-rendszerrel választottuk. Mérendő mennyiségekként az egyenletrendszer együtthatóit, kimeneti mennyiségként az egyik tömeg $x(t)$ elmozdulás—idő függvényét tekintettük. Mérőgerjesztésként a vizsgált tömeg kezdeti feltételként adott x_0 ki-mozdítása szerepelt.

Az identifikációhoz első lépésként a hibrid rendszer segítségével, programozott mintavételes sorozattal megmértük a valóságos lengőrendszer elmozdulás—idő függvényét, és száz mérési adat formájában a digitális gép memóriájában tároltuk. A digitális gépen futó program a tárolt pontokból, a hibrid csatolóegység interpoláló digital-analóg átalakítóján keresztül az időfüggvényt ismételtelen rekonstruálja. Az így előállított, és az analóg gép műveleti ciklusával szinkron futó jelet az analóg gépen programozott modell kimeneti jelével egy hibaképző hálózat hasonlítja össze. A hibát az analóg gépen programoztuk, és a különbség abszolútérték-integráljaként definiáltuk. A digitális gépen futó program kezeli — az alkalmazott stratégiának megfelelően — a modell paramétereit változtató digitális potenciométereket is. Optimumkereső stratégiaként Newton—Raphson és randomsearch interpoláló algoritmusokat választottunk. A program biztosítja a kezdeti paraméterek egyszerű bevitelét, a részeredmények és végeredmények egyszerű lehívását, a stratégiák menet közbeni váltását stb.

A futtatott demonstrációs programmal szerzett tapasztalatok igen kedvezőek. A kapott eredmények pontossága, reprodukálhatósága minden igényt kielégít. A módszer gyors és jól konvergál. Lehetőséget nyújt menet közbeni struktúramódosításokra is, így a modell jóságának értékelésére, ill. a rendszeridentifikáció közvetlen megközelítésére: esetünkben pl. a sebességáramnyos csatolás (az A_3 , B_3 paraméterek) elhanyagolásából eredő hibák meghatározására.

II. Automatikus távmérő és távvezérlő rendszer

A rendszer felépítése és funkciói

1973 januárjában bízta meg a Budapesti Műszaki Egyetem Műszer- és Méréstechnika Tanszékét a Középdunavölgyi Vízügyi Igazgatóság egy automatikus távmérő és távvezérlő rendszer, a Zagyva-Tarna Vízgazdálkodási Szabályozó Rendszer kifejlesztésével. A rendszer, mely a Zagyva-Tarna vízgyűjtő terület hidrológiai és meteorológiai jellemzőinek mérése és értékelése révén az árvízvédekezéshez és a vízkészletgazdálkodáshoz döntéselőkészítő információkat szolgáltat, három fő részből áll:

- alközpontok a környezetükbe telepített mérőérzékelőkkel (számuk kezdetben 18 lesz);
- adatátviteli csatorna az alközpontok és a budapesti központ között, ez gazdaságossági megfontolások alapján a Magyar Posta előfizetői telex-hálózata;
- a budapesti központ.

Az alközpont feladata a hozzákapcsolt mérőérzékelők mérési adatainak meghatározott időnként való automatikus lekérdezése, digitalizálása, tárolása, továbbá a központból érkező parancs hatására a mért adatok továbbítása és a távvezérlési parancsok végrehajtása. A budapesti központból érkező parancsok a következők lehetnek:

- a memóriában tárolt adatok meghatározott részének, általában az egy óra alatt gyűjtött mérési adatok kérése;
- a soron kívüli mérés kérése;
- az utolsó automatikus mérés adatainak kérése;
- a távvezérlés.

Minden alközpont-hoz legfeljebb 100 készülék illeszthető. A mért adatok három decimális számjegyet foglalhatnak el, az átalakítási pontosság ± 1 számjegy. Az alközpontok a postai telex-hálózatra illesztőegységen keresztül csatlakoznak. Az előfizetői telex-hálózat alkalmazása egyben azt is jelenti, hogy az alközpontok bármely telex-állomásról meghívhatók, ezáltal lehetőség van arra, hogy a mérési adatokhoz bár-

mely telex-előfizető hozzáférjen. A rendszer megfelelő működése érdekében azonban a távvezérlési parancsokat csak a központból szabad kiadni, ezért azok kiadása előtt a hívónak jelzéváltással kell magát azonosítania.

A központnak hatalmas mennyiségű adatot kell gyűjtenie, ellenőriznie, értékelnie és tárolnia, ezért megvalósítása elképzelhetetlen számítógép alkalmazása nélkül. A választás a KFKI által gyártott TPAi kiszámítógépre esett. A központ felépítését az 1. ábra mutatja.

Az adatok elveszésének elkerülésére az off-line vezérlő a számítógép meghibásodása esetén is képes az alapvető működéseket vezérelni, azaz:

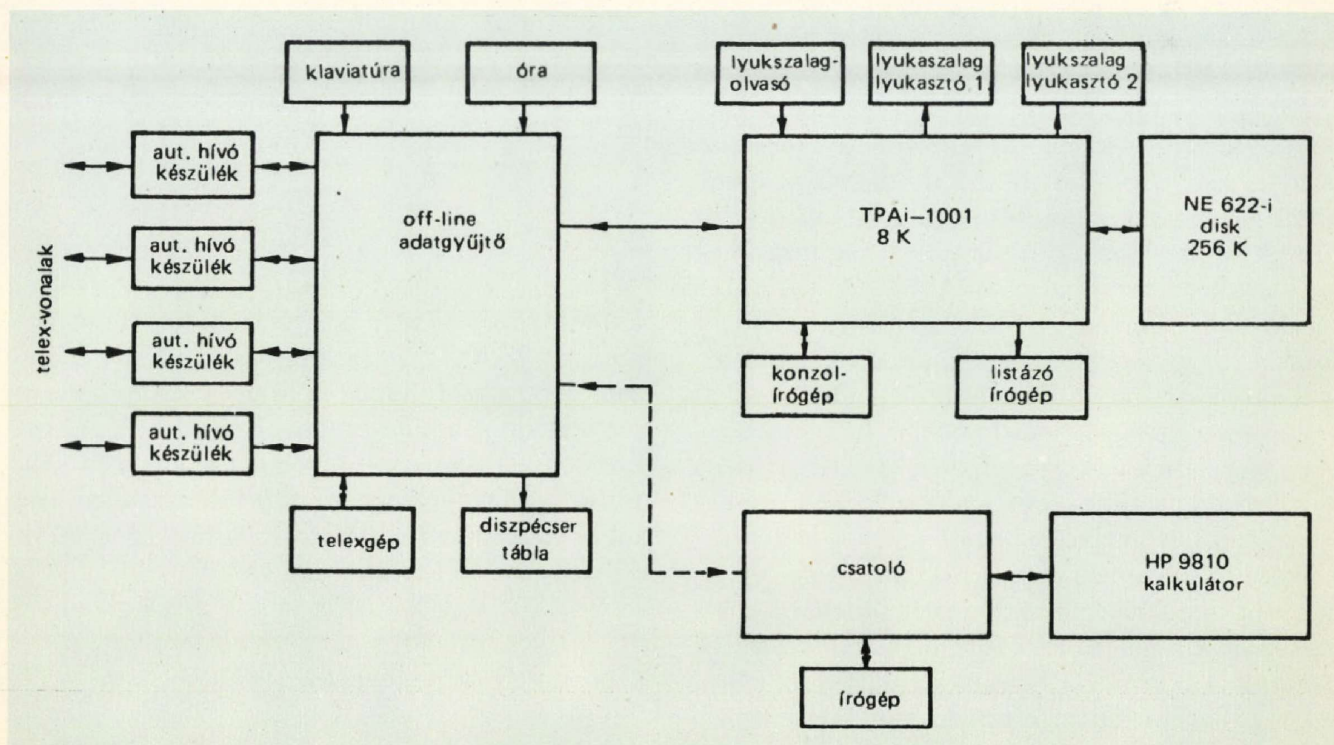
- óránként automatikusan megkérdezi a mérőállomások adatait és ezeket telex-géppel papírra és lyukszalagra rögzíti;
- vezérli a központ négy telex vonalára kapcsolódó automatikus hívókészülékeket;
- ellenőrzi az adatátvitel helyességét;
- a beérkező adatokon egyszerű hihetőségi és riasztási határértékvizsgálatot végez; a határérték túllépését a kezelőszemélyzet tudomására hozza;

— a beérkező adatokat — a kezelőszemélyzet kívánságától függő formában — a diszpécser táblán kijelzi.

Rendes körülmények között a központ működését a TPAi kiszámítógép vezérli, mely bonyolult feladatok végrehajtását is lehetővé teszi. Előre meghatározott menetrend szerint vezérli a mérési adatok gyűjtését; a menetrendet azonban szükség esetén automatikusan vagy kezelő személyzet beavatkozására módosíthatja.

A beérkező adatokat különféle bonyolult vizsgálatoknak vetik alá, ezek a következők lehetnek:

- a) *Hihetőségvizsgálat* — pl. a 10 min alatt lehullott csapadék mennyisége nagy valószínűséggel nem haladhat meg egy statisztikailag meghatározott értéket. A hibásnak talált adatot azonban — tekintettel arra, hogy az kis valószínűséggel ugyan, de igaz is lehet — megfelelő hibajelzéssel ellátva tárolni kell. A hibalehetőségvizsgálat nyújt lehetőséget az alközpontok, ill. az egyes mérőérzékelők hibáinak felderítésére.
- b) *Riasztási határértékvizsgálat* — ha a mért adat valamely előre meghatározott értéket



1. ábra. A központ felépítése

meghalad vagy annál éppen kisebbé válik, pl. a vízállás egy megengedett szintnél nagyobb lesz, akkor erről a rendszerre felügyelő operátort értesíteni és ugyanakkor az automatikus előrejelző programot indítani kell.

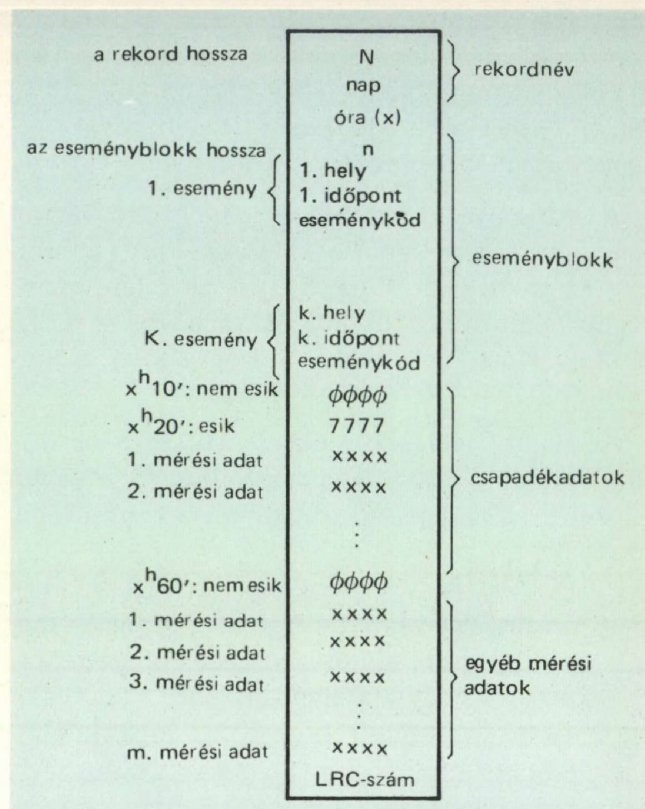
c) Bonyolult algoritmus szerinti *összetett riasztásvizsgálat* — erre azért van szükség, mert igen gyakran előfordulhat, hogy az egyes mérési eredmények önmagukban még nem jelzik a veszélyt, összhatásukban azonban veszélyhelyzetet teremtenek.

Az óránként begyűjtött adattömegből a későbbi feldolgozás céljára adatrekordot kell szerveznie a központ számítógépének. Ennek könnyen visszakereshetően és ugyanakkor tömören kell tárolnia a rendszer állapotát egyértelműen megadó információkat. Az adatrekord szerkezetének megválasztását jelentősen befolyásolja, hogy a memóriahellyel takarékoskodni kell, tehát optimálisan kell kódolni. Vannak olyan jellemzők, pl. a csapadék mennyisége, amelyek értéke általában nulla, és csak kis valószínűséggel tér el nullától. Az ilyen adatok tárolására változó hosszúságú kódot érdemes használni. Más jellemzők, pl. a vízállás értéke folyamatosan változik, így minden mérési adat kb. azonos információmentenységet hordoz. Az ilyen adatok tárolására állandó hosszúságú kódot alkalmazunk.

Az adatrekord egy lehetséges felépítését a 2. ábra mutatja.

Az egy órányi adatot tartalmazó adatrekordokból adatfile-okat kell szerveznie a TPAi számítógépnek. Az adatfile-ok az adatrekordokon kívül a rendszer kiépíthetőségére vonatkozó információt, azaz az adatrekordok értelmezésének szabályait is tartalmazzák. A file-ok hosszát a tároló közeg kapacitása, a konfiguráció megváltozása, ill. az adatok gyors visszakereshetőségének igénye befolyásolja. A lezárt adatfile-okat a papírszalagbázisú adatbankban helyezük el.

A mérési adatok gyűjtésének elsődleges célja — mint említettük — az árvizek megelőzéséhez és a vízkészletgazdálkodáshoz szükséges döntéshozzájáruló információk szolgáltatása. Az előrejelző programoknak az automatikus adatgyűjtés megzavarása nélkül kell futniuk és hozzáférniük a háttértárban tárolt adatokhoz. Mivel az előrejelző programokat a rendszer működése során szerzett tapasztalatok alapján várhatóan igen gyakran kell majd módosítani, biztosítanunk



2. ábra. Az adatrekord felépítése

kell, hogy a rendszer egészének működését az előrejelző programok esetleges hibái ne befolyásolhassák. A távmérő és távvezérlő rendszer működtetéséhez tehát olyan operációs rendszerre van szükség, mely különböző prioritású, egymástól független programszövegmensek valós idejű futtatását és a közös adatokhoz való hozzáférést lehetővé teszi. A TPAi számítógépek rendelkeznek ilyen operációs rendszerrel: ez a Disk Monitor Rendszerre épülő INDAL programrendszer.

Az off-line vezérlőhöz csatlakozó Hewlett—Packard 9810 A típusú kalkulátorral az off-line üzemnél bonyolultabb előfeldolgozást és riasztásvizsgálatot lehet végezni. Ezáltal a TPAi számítógép esetleges meghibásodása, ill. más célra (pl. programfejlesztésre) való felhasználása esetén is biztosítható a rendszer legfontosabb funkcióinak maradéktalan ellátása.

A központ operációs rendszere

A teljes operációs rendszer a következő főbb programokból áll:

- disk monitor;
- INDAL generátor;
- INDAL executive;
- automatikus mérésadatgyűjtő program;
- előrejelző programok;
- kiszolgáló programok;
- fordítóprogramok (DSLANG assembler, INDAL compiler stb.);
- segédprogramok (EDIT, MSUP stb.).

A disk monitor a file-oknak a háttértárolóra való kivételére, ill. onnan való visszahívására, valamint a file-nyilvántartás vezetésére szolgál.

Az INDAL generátor az INDAL executive-ot a mindenkori konfigurációnak megfelelően építi fel. Az INDAL executive gondoskodik az INDAL compiler által lefordított programszegmensek megfelelő prioritású, előírt időpontokban való lefuttatásáról, az esetleges konfliktusok feloldásáról, az operátori beavatkozás lehetővé tételéről, a háttértároló kezeléséről stb.

Míg a fenti három csoport a *TPAi* számítógép meglévő, csupán kissé módosítandó rendszerprogramjai, addig a következő három csoportba speciális, újonnan kidolgozandó programok tartoznak. A programozási munka megkönnyítésére ezeket a programokat a FORTRAN-hoz és a BADIC-hez nagyon közelálló, magasszintű INDAL nyelven készítjük el, és csupán azokat a programrészeket írjuk meg assembly szinten, melyek a helyfoglalás vagy a futási idő szempontjából különösen kritikusak.

Az automatikus mérésadatgyűjtő program feladatai:

- az alközpontok óránkénti, menetrend szerinti lekérdezése;
- a telex-vonalak kezelése;
- határértékvizsgálat, szükség esetén riasztással;
- adatszerzés.

Az előrejelző programok feladatainak specifikálása és kidolgozása — a dolog természetéből adódóan — a hidrológus szakemberek feladata. A rendszer többi programjával ellentétben az előrejelző programokat a tapasztalatok alapján gyakran kell majd módosítani, ráadásul e programok viszonylag bonyolult matematikai számításokat tartalmaznak. Ezért az előrejelző programokat mindenképpen INDAL nyelven kell megírni, gépi kódú blokkokat pedig csak különösen indokolt esetben fogunk alkalmazni.

A kiszolgáló programok teszik lehetővé, hogy kezelőszemélyzet a központ konzolirógépén keresztül irányíthassa vagy módosíthassa a rendszer működését, parancsokat küldhessen az egyes alközpontoknak, kikérdezhesse a memóriában tárolt mérési adatokat, azokon meghatározott műveleteket végezhesen stb.

A fordító programok és a segédprogramok feladata a rendszer továbbfejlesztéséhez szükséges módosítások lehetővé tétele.

A Zagyva-Tarna Vízgazdálkodási Szabályozó Rendszert a tervek szerint 1975 májusában helyezik üzembe.

**Bánsági László—Hanák Péter—
Selényi Endre**