



HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA

XLI. évfolyam
BUDAPEST

1990

1

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XLI. évfolyam, 1990. 1. szám

BHG ORION TERTA MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXXVI. évfolyam, 1990. 1. szám

MEV REMIX TKI MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

VIII. évfolyam, 1990. 1. szám

Felelős szerkesztő:

DR. TÓFALVI GYULA

Szerkeszti a szerkesztőbizottság

A szerkesztőbizottság elnöke:

HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:

ANGYAL LÁSZLÓ

DR. FLESCHE ISTVÁN

MÉREY IMRÉNÉ

SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG:

HTE

Rovatvezető: Mérey Imréné

Gál Ferenc

Dr. Prónay Gábor

BHG

Rovatvezető: Angyal László

Tudományos szerkesztő: Dr. Frajka Béla,

Ágostházi Margit, Bernhart Richárd,

Fazekas László, Dr. Kerpán István,

Klug Miklós, Lackó Endre, Szaics Ákos

MEV

Rovatvezető: Kászonyi László

Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz,

Balogh Albert, Csornai László,

Czermann Mihály, Hidas György,

Huszka Zoltán, Dr. Ligeti Róbertné,

Dr. Mátrai Géza, Dr. Motál György,

Schödl Ervin

ORION

Rovatvezető: Dr. Somogyi András

Tudományos szerkesztő: Dr. Frigyes István

Denk Atilla, Froemel Károly,

Nóvik Lajos, Pethes István

REMIX

Rovatvezető: Rippel Géza

Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz,

Horváth Lajos, Mészáros Sándor,

Papp Károly, Sugár Béla,

Dr. Udvarhelyi Gábor, Dr. Vértessy Miklós

TKI

Rovatvezető: Dr. Baranyi András

Tudományos szerkesztő: Dr. Lajtha György,

Dr. Henk Tamás, Dr. Kása István,

Megyesi Csaba, Dr. Sárkány Tamás,

Dr. Simonyi Ernő

TERTA

Rovatvezető: Szalay Tibor

Tudományos szerkesztő: Dr. Gordos Géza,

Keller János, Márik Zoltán,

Porpáczy Elemér, Schnürmacher Tamás,

Török László, Veress Péter

Szerkesztőségi ügyekben és kéziratok-

kal kapcsolatban felvilágosítást ad:

Szöllősi Györgyné.

Telefon: 149-50-98

ROVATOK

Egyesületi élet
Rendszertechnika
Kapcsolástechnika
Vezetékes technika
Fénytvázközlés
Vezeték nélküli technika
Adástechnika
Vételtechnika
Mikroelektronika
Alkatrésztechnika
Hálózatelmélet
Elektromágneses problémák

ROVATGAZDÁK

HTE (H)
TKI (□)
BHG (#)
TERTA (↔)
ORION (*)
MEV (†)
REMIX (Δ)

ROVATTÁRSÁK

BEAG HTV
BME KONAKTA
BRG KÓPORC
EMO KFKI
El. szöv. M. Posta
FMV ML
GAMMA MM
HTSZ MFKI
HAGY TUNGSRAM

TARTALOM

| | |
|---|-------|
| DR. VARGA IMRE: Adaptív digitális szűrés I. | 1 |
| Szemle..... | 7, 18 |
| Beszámoló a "Stochastische Modelle und Methoden in der Informati- onstechnik" című VDE napokról..... | 8 |
| DR. FERENCZ CSABA: A modellezés feladatai és problémái a távve- zérlésben..... | 9 |
| 1989. évi tartalomjegyzék..... | 16 |
| LŐRINCZ ENDRE: Az információs társadalom színe és visszája..... | 19 |
| VANKÓ PÉTER: Polikristályos szilícium szalagok vizsgálata..... | 21 |
| ROZVÁNYI IVÁN: Digitális jel átviteli tulajdonságainak javítási lehetőségei a 400 MHz-es sávban..... | 27 |
| Tartalmi összefoglalások..... | 31-32 |

Adaptív digitális szűrés I.

DR. VARGA IMRE

BME Híradástechnikai Elektronika Intézet

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk két részben áttekintést nyújt az adaptív szűrők struktúráiról, algoritmusairól és bemutatja a jellegzetes problémákat. Az első rész az optimális lineáris szűréssel foglalkozik, részletesen tárgyalja azokat a FIR szűrő algoritmusokat, melyek a Wiener-Hopf egyenletből és a Kalman-szűrőből vezethetők le.

1. Bevezetés

Jelen két részes cikkben szűrő alatt olyan jelfeldolgozó eszközt értünk, amely egy stochasztikus folyamatból egy másikat valamilyen hibakritérium értelemben lineáris szűréssel állít elő. Alapvetően háromféle információfeldolgozási folyamatról beszélhetünk: szűrésről van szó, ha a t időpillanatban és előtte, simításról, ha a t időpillanat előtt és után mért adatokból következtünk a mennyiség t időpontbeli értékére, míg predikció esetén a t időpillanatban és előtte mért adatokból jósoljuk a mennyiség értékét egy későbbi, $t_1 > t$ időpontban.

Az optimális lineáris szűrés feladata annak a lineáris szűrőnek a meghatározásában áll, mely egy adott stochasztikus folyamatból egy másik adott lineáris szűréssel, adott hibakritérium értelemben minimális hibával elő tud állítani. A hibakritérium szokásosan a négyzetes átlaghiba minimalizálása és az így kapott optimális lineáris nemrekurzív becslő a Wiener-szűrő stacionárius folyamatok esetén, illetve az optimális lineáris rekurzív becslő a Kalman-szűrő, mely nemstacionárius folyamatokra is alkalmazható. A gyakorlatban az optimális szűrő számításához szükséges a priori információ a feldolgozandó jelekről nem áll rendelkezésre, s ezért van szükség adaptív szűrőkre. Az adaptív szűrők "öntervezők" abban az értelemben, hogy a bemeneti stochasztikus folyamatok statisztikájának ismerete nélkül, egy rekurzív algoritmus - bizonyos kezdeti feltételekből kiindulva - iteratív módon gondoskodik az optimális közelálló szűrőkarakterisztika illetve szűrőegység kialakításáról. Az algoritmus rekurzív jellege miatt a kimeneti jel függ a bemeneti jeltől, vagyis az adaptív szűrő általában nemlineáris eszköz.

Az adaptív szűrők elvileg két független részből, algoritmusból és struktúrából tevődnek össze. A cikkben ismertetjük az adaptív FIR (véges impulzusválaszú) szűrőkre vonatkozó algoritmusokat, majd az adaptív IIR (végtelen impulzusválaszú) szűrők jellegzetes problémáit tekintjük át.



Dr. VARGA IMRE

A BME Villamosmérnöki Karán végzett 1982-ben. 1982-1984. között a BME Elméleti Villamosság Tanszéken volt tudományos továbbképzési ösztöndíjas, a hálózatelmélet témakörén belül lineáris hálózatok érzékenység- és toleranciaproblémáival foglalkozott. 1984-ben műszer és irányítástechnikai szakmérnöki és egyetemi doktori oklevelet szerzett. 1984. óta a BME Híradástechnikai Elektronika Intézetben dolgozik. Jelenlegi fő érdeklődési területe a digitális jelfeldolgozás, adaptív szűrés.

2. Stochasztikus approximáció

A stochasztikus approximáció módszerei jelentik történetileg az első lépést adaptív algoritmus kialakítására. Ezek az eljárások rekurzívak, a legkisebb négyzetek módszerénél egyszerűbbek, konvergenciájuk ugyanakkor kevésbé megbízható. A Robbins-Monro algoritmus [8] tárgyalásához tekintsük az

$$f(h) = f_0 \quad (2-1)$$

egyenletet, melyben f_0 ismert konstans és a feladat a h paraméter meghatározása. Abban az esetben, ha $f(h)$ pontosan mérhető, (2-1) megoldható pl. a jól ismert gradiensmódszerrel:

$$h_{k+1} = h_k + \mu_k [f(h_k) - f_0] \quad (2-2)$$

Az iteráció bizonyos feltételeket kielégítő μ_k számsorozat esetén konvergens.

Abban az esetben, ha $f(h)$ helyett annak csak zajjal terhelt

$$f_n(h, n) = f(h) + n \quad (2-3)$$

értéke mérhető, ahol n zérus középértékű, véges varianciájú zajt jelent és

$$E\{f_n(h, n)\} = f(h) + n \quad (2-4)$$

(E a várható érték képzést jelöli), akkor a gradiensmódszer alkalmazása a

$$\hat{h}_{k+1} = \hat{h}_k + \mu_k [f_n(\hat{h}_k, n_k) - f_0] \quad (2-5)$$

Robbins-Monro iterációra vezet, mely a (2-4) egyenlet h_0 megoldásához konvergál legkisebb átlagos négyzetes hiba értelemben, ha a (2-4) egyenletnek egy gyöke van és

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu_k = 0, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \mu_k = \infty, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \mu_k^2 < \infty. \quad (2-6)$$

Példa a fenti feltételeknek eleget tevő μ_k számsorozatra: $\mu_k = \alpha/k$ vagy $\mu_k = \alpha/(\beta+k)$. Az algoritmus neve abból származik, hogy a (2-5) rekurzióban a pontos gradiens "stochasztikusan" közelítő értéke szerepel.

Ehhez hasonló a Kiefer-Wolfovitz algoritmus, mely az $f(h)$ függvény szélsőérték helyét, tehát a

$$\frac{df(h)}{dh} = 0 \quad (2-7)$$

egyenlet megoldását közelíti a

$$\hat{h}_{k+1} = \hat{h}_k + \mu_k \frac{d}{dh} f(\hat{h}_k, n_k) \quad (2-8)$$

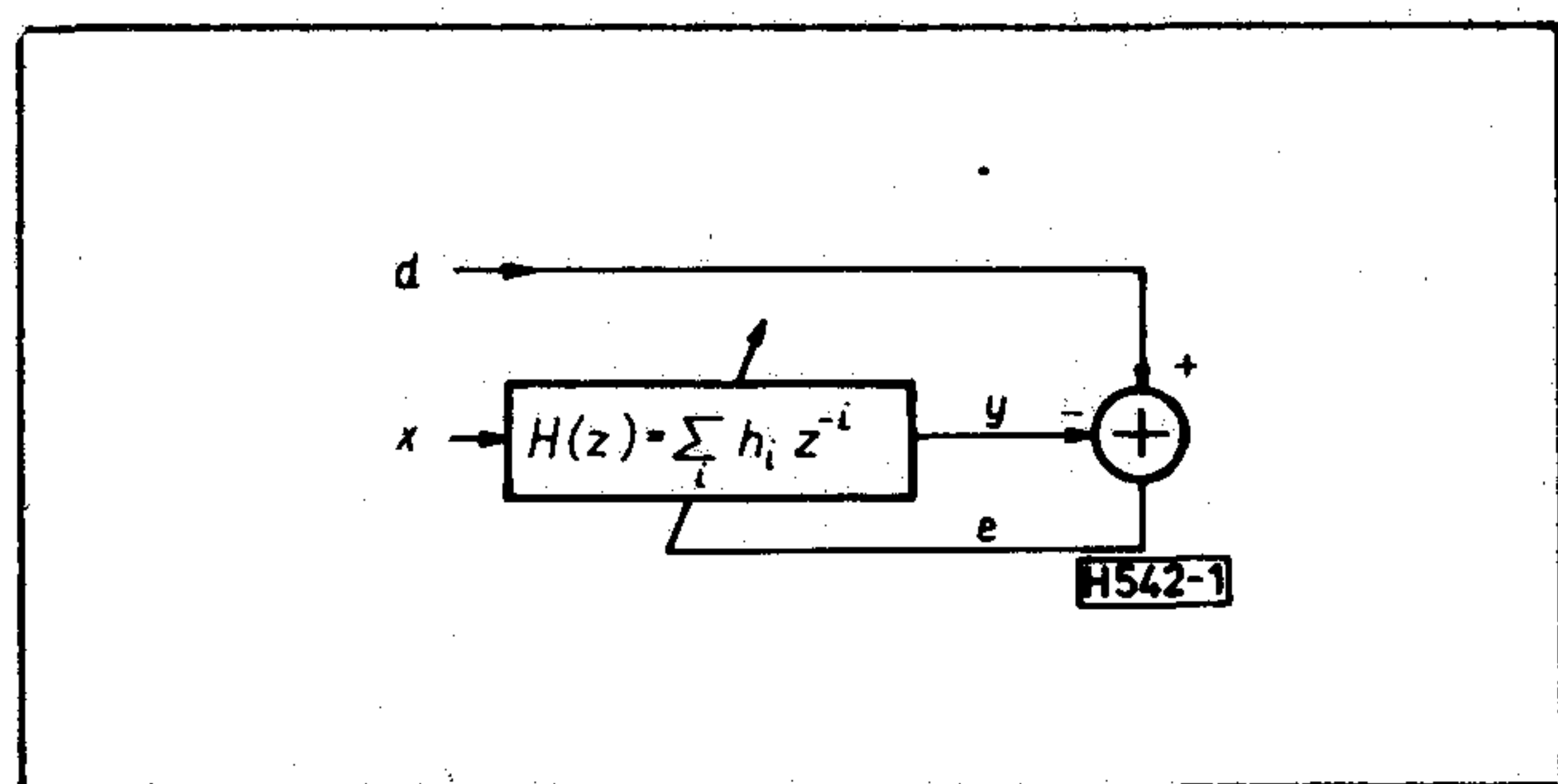
rekurzióval. A stochasztikus approximáció módszereinek konvergenciájával Blum (1953), Dvoretzky (1956) és Derman és Sacks (1959) foglalkozott részletesen.

A stochasztikus approximáció (2-5) módszere

$\lim_{k \rightarrow \infty} \mu_k = 0$ miatt végtelen memóriájú és emiatt stacionárius jeleknél alkalmazható.

3. Wiener-Hopf egyenlet és LMS (least mean squares) algoritmus

Az 1. ábrán feltüntetett rendszerben az x bemeneti jel lineáris szűrésével olyan y kimeneti jelet kívánunk előállítani, amely legkisebb átlagos négyzetes hiba



1. ábra Adaptív szűrő

értelemben közelíti a d (desired response) bemeneti jelet. Feltéve, hogy x és d valós értékű stacionárius folyamat, akkor

$$\begin{aligned} e &= d - y \\ y &= \mathbf{h}^T \mathbf{x} \\ J(\mathbf{h}) &= E\{e^2\} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (3-1)$$

ahol az x jel egymás utáni értékeit x -ba foglaltuk össze és ezzel a helyettesítéssel

$$J(\mathbf{h}) = \sigma_{2d} - 2\mathbf{h}^T \mathbf{p} + \mathbf{h}^T \mathbf{R} \mathbf{h} \rightarrow \min \quad (3-2)$$

adódik, ahol

$$\mathbf{R} = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^T\}, \quad \mathbf{p} = E\{d\mathbf{x}\} \quad (3-3)$$

a bemeneti jel autokorrelációs mátrixa és a két bemeneti jel keresztkorrelációs vektora. A (3-2) hibafüggvény minimalizálása ekvivalens az

$$\mathbf{R}\mathbf{h} = \mathbf{p} \quad (3-4)$$

lineáris egyenletrendszer (Wiener-Hopf egyenlet vagy normálegyenlet) megoldásával. Az optimális

$$\mathbf{h}_{opt} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p} \quad (3-5)$$

szűrőegyütthatóvektor általában az időinvariáns és nemkauzális Wiener-szűrőt írja le, azonban ha hosszát speciális megkötésként véges N -re választjuk úgy, hogy $H(z)$ FIR szűrőt jelentsen:

$$h(i) = \begin{cases} 0, & i < 0 \\ \text{véges}, & 0 \leq i \leq N \\ 0, & i > N \end{cases} \quad (3-6)$$

akkor \mathbf{h}_{opt} az optimális FIR szűrő együtthatóit jelöli. A feltételezett stacionárius esetben tehát a Wiener-szűrő időinvariáns, \mathbf{h}_{opt} időben nem változik.

Az optimális lineáris Wiener-szűrő lényeges tulajdonsága az ún. ortogonalitás elve. Átrendezve ugyanis a Wiener-Hopf egyenletet (3-4),

$$E\{\mathbf{x}_k (d_k - \mathbf{h}_{opt}^T \mathbf{x}_k)\} = E\{\mathbf{x}_k e_{optk}\} = 0$$

adódik, tehát a FIR szűrő jelvektorának elemei és az optimális helyzethez tartozó hibák ortogonálisak. Hasonlóképp, felírva az előbbi egyenlet \mathbf{h}_{opt}^T vektorral beszorzott alakját,

$$\mathbf{h}_{opt}^T E\{\mathbf{x}_k e_{optk}\} = 0 \quad (3-7)$$

adódik, vagyis

$$E\{y_k e_{optk}\} = 0 \quad (3-8)$$

Ez azt jelenti, hogy a szűrő kimenete és a hiba is ortogonális, vagyis e normálisa y -nak. Ezért a Wiener-Hopf egyenletet normálegyenletnek is nevezik. A minimális átlagos négyzetes hiba és a bemenet-hiba közötti ortogonalitás tehát azonos feltételeket jelent.

A Wiener-Hopf egyenlet megoldásának problémái három szinten jelentkeznek. Egyrészt ha a priori ismert is a bemeneti jelek statisztikája, vagyis az \mathbf{R} és \mathbf{p} mennyiségek, akkor is $O(N^3)$ számításigényt jelent a

(3-5) direkt megoldás. Ez $O(N^2)$ -re redukálható, kihasználva, hogy stacionárius esetben \mathbf{R} szimmetrikus Töplitz mátrix. Másrészt, a gyakorlatban \mathbf{R} és \mathbf{p} ismeretlen. Bár lehetőség van az adatok ablakolásával, blokkonként becsülni a mennyiségeket és megoldani a Wiener-Hopf egyenletet, ennek egy rekurzív algoritmussal szemben nincs előnye. Harmadrészt, a gyakorlatban a jeleknek nem csak a statisztikája ismeretlen, hanem fel kell készülni nemstacionárius helyzet követésére is. Mindhárom szempontból az $O(N)$ számításigényű, rendkívül egyszerű rekurzív LMS algoritmus kedvezőbb, mely a gradiensmódszer "stochasztikus változata".

Miután

$$\text{grad } J(\mathbf{h}) = -2\mathbf{p} + 2\mathbf{R}\mathbf{h} \quad (3-9)$$

így a gradiensmódszer iterációja

$$\mathbf{h}_{k+1} = \mathbf{h}_k + \mu(\mathbf{p} - \mathbf{R}\mathbf{h}_k), \quad (3-10)$$

ahol μ a lépésméretet jelöli.

Ha a jelek statisztikája ismeretlen, akkor a gradienst illetve az \mathbf{R} és \mathbf{p} mennyiségeket becsülni kell. Az LMS algoritmus (Windrow és Hoff, 1960) [5], [6], [10], [9] az alábbi közelítést teszi:

$$\mathbf{R} = E\{\mathbf{x}\mathbf{x}^T\} \rightarrow \hat{\mathbf{R}}_k = \mathbf{x}_k\mathbf{x}_k^T \quad (3-11)$$

$$\mathbf{p} = E\{d\mathbf{x}\} \rightarrow \hat{\mathbf{p}}_k = d_k\mathbf{x}_k$$

Így tehát az LMS rekurzió

$$\mathbf{e}_k = d_k - \mathbf{h}_k^T \mathbf{x}_k \quad (3-12)$$

$$\mathbf{h}_{k+1} = \mathbf{h}_k + \mu \mathbf{e}_k \mathbf{x}_k \quad (3-13)$$

alakú. Két adat érkezése közötti időben tehát egyrészt szűrést (3-12), másrészt adaptációt (3-13) kell végezni. Az LMS algoritmust stochasztikus gradiensmódszernek is nevezik, mert a gradiensnek pillanatnyi, "stochasztikus" közelítését alkalmazza, annak ellenére, hogy éppen e közelítés miatt a gradiens helyén véletlen számok állnak. Inicializálásként általában $\mathbf{h}_0 = \mathbf{0}$ megfelelő.

Az alábbiakban összefoglaljuk a LMS algoritmus főbb tulajdonságait [5], [6], [9], [10].

1. Az LMS algoritmus műveletigénye $O(N)$, pontosabban a szorzások iterációnkénti száma $2N$. Legfőbb előnye éppen az egyszerűsége.

2. Stabilitás. A $J(\mathbf{h})$ hibafelület az N dimenziós térben stacionárius esetben egy rögzített alakú és helyzetű paraboloid, melynek globális minimuma keresett. Ha a jelek statisztikája ismert, akkor a paraboloid is ismert és minimumát például a gradiensmódszerrel, a (3-8) egyenlettel határozhatjuk meg. A μ lépésméret optimális (maximális) értékét a

$$\frac{\partial J(\mathbf{h}, \mu)}{\partial \mu} = 0 \quad (3-14)$$

egyenletből meg lehet határozni, mivel ismert a gradiens,

$$\mu_{\text{opt}} = \mu_{\text{max}} = \frac{2}{\mathbf{x}^T \mathbf{x}} = \frac{2}{\text{bemeneti jelteljesítmény}} \quad (3-15)$$

adódik. Ha a jelekről a priori semmit nem tudunk, akkor a paraboloid és a gradiens is ismeretlen, az LMS algoritmus

$$0 < \mu < \mu_{\text{max}} \quad (3-16)$$

lépésméret esetén stabilis.

3. Konvergencia. A (3-11) szerinti közelítés meglehetősen durva, ezért egyrészt kvalitatíve nyilvánvaló, hogy a Wiener-Hopf egyenletnek csak közelítő megoldását kapjuk, másrészt annyira távol kerültünk ezáltal a Wiener-problémától, hogy feltehető a kérdés, mi történik a Wiener-feladat által le nem fedett esetekben, nemstacionárius jeleknél.

Az első kérdésre számszerű választ keresve, írjuk fel az átlagos négyzetes hiba Wiener-minimumát, (3-2)-be helyettesítve (3-5)-öt:

$$J(\mathbf{h}_{\text{opt}}) = J_{\text{min}} = \sigma_{d|f}^2 - \mathbf{p}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p} = \sigma_{d|f}^2 - \mathbf{p}^T \mathbf{h}_{\text{opt}} \quad (3-17)$$

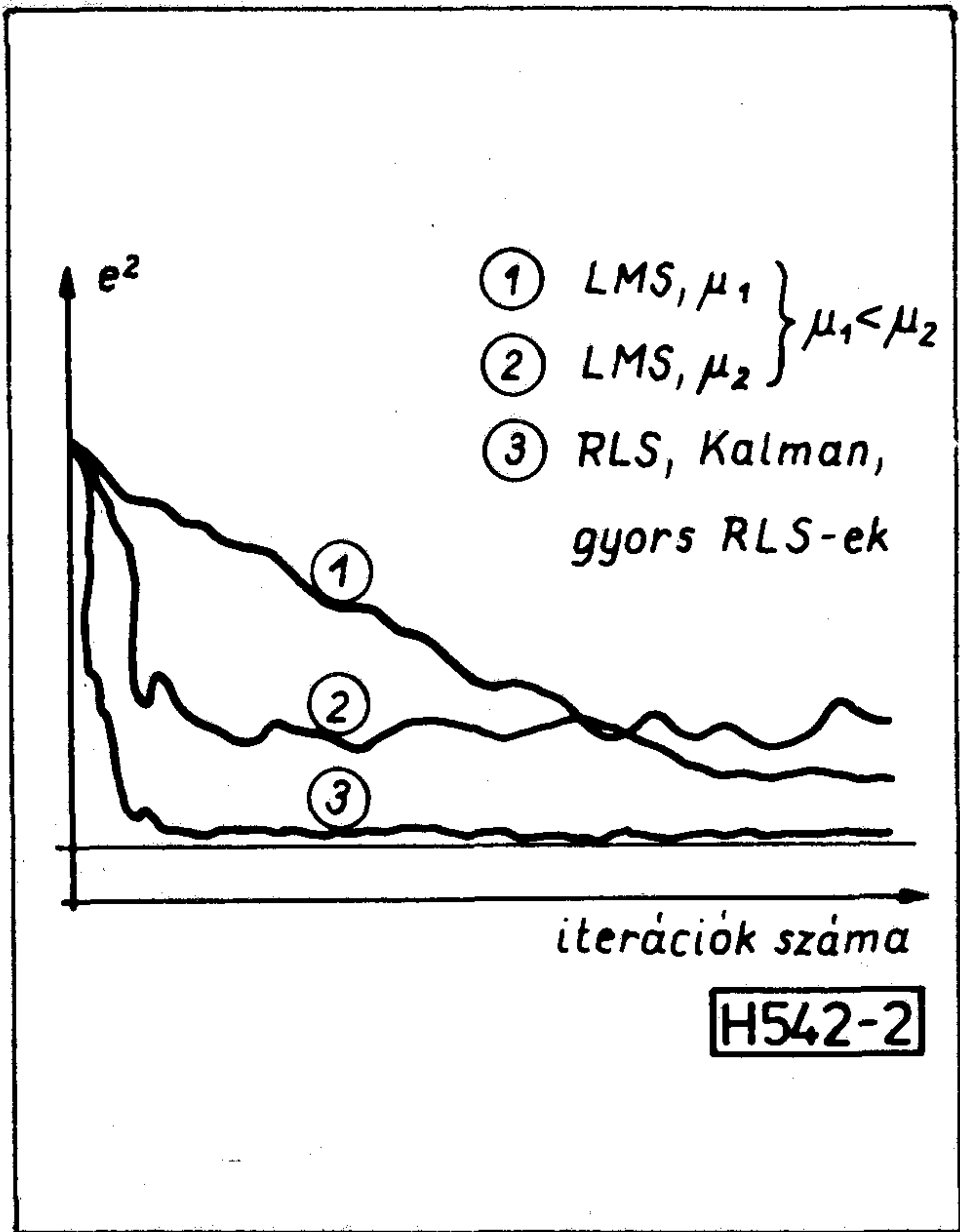
Belátható, hogy a maradékhiba végértékének várható értéke nem nulla:

$$E\{J_{\text{ex}}(\infty)\} = E\left\{\lim_{k \rightarrow \infty} (J(\mathbf{h}_k) - J_{\text{min}})\right\} = \frac{\mu J_{\text{min}} \text{tr } \mathbf{R}}{2 - \mu \text{tr } \mathbf{R}} \quad (3-18)$$

Ez azt jelenti, hogy az algoritmus a μ lépésmérettől függő sebességgel és maradékhibával, mindig a Wiener-optimumhoz tartozónál nagyobb maradékhibához konvergál négyzetes átlagban, ha a (3-16) feltételt betartjuk. Az is belátható továbbá, hogy (3-16) esetén

$$E\left\{\lim_{k \rightarrow \infty} \mathbf{h}_k\right\} = \mathbf{h}_{\text{opt}}, \quad (3-19)$$

vagyis a szűrőegységvektor sokaság-átlagban a Wiener-optimumhoz konvergál. Ha μ értéke nagy, akkor a konvergencia gyorsabb, de nagyobb a maradékhiba, míg ha kicsi, akkor a konvergencia lassabb, de kisebb a maradékhiba. Konvergencia esetén a szűrő egységvektora a Wiener-optimum körül μ által meghatározott amplitúdóval véletlenszerűen oszcillál. A konvergenciátranziensek tipikus menete a 2. ábrán látható.



2. ábra Adaptív szűrők tipikus konvergenciatranziensei

4. A 3. pontban említett második kérdésre választ keresve, nemstacionárius esetben (nemstacionárius jelek vagy idővariáns rendszer modellezése) μ értékét alulról az a követelmény korlátozza, hogy az időben változó paraboloidot követni kell, felülről pedig az előírt maradékhiba. Így rendszerint μ -t e két hatás kompromisszumaként kell megválasztani, ami általában tapasztalaton alapszik.

5. Kondicionáltság. A konvergencia sebessége nem csupán a μ értékétől függ, hanem a bemeneti jeltől is. Mint az a gradiensmódszer esetében jól ismert, ha az R korrelációs mátrix rosszul kondicionált, vagyis legnagyobb és legkisebb sajátértékének aránya nagy, akkor a hibafelület-paraboloid metszete erősen ellipszissé válik és így a konvergencia lassú lesz, sebességét döntően a legkisebb sajátérték határozza meg. Ez lényeges hátránya az LMS algoritmusnak.

6. A stochasztikus approximációval összevetve, az LMS algoritmus esetén a μ lépésméret állandó a konvergencia során, ami véges memóriának (felejtő algoritmusnak) felel meg. Emiatt az LMS algoritmus nem csak statikus környezetben alkalmazható, amint a 4. pontban vázoltuk.

7. Véges szóhosszúság hatása [1], [3]. A digitális megvalósítás következtében mind a bemeneti jelek, mind a belső számábrázolás véges pontosságúak. Az algoritmus rekurzív jellege a hiba folyamatos akkumulálódásához, az pedig numerikus instabilitáshoz vezethet. Numerikusan stabil algoritmus esetén a hibák akkumulálódása véges

határokon belül megy végbe. Részletes analízisbe nem bocsátkozhatunk, csak azt említjük meg, hogy az LMS algoritmus általában numerikusan stabil, pontossága állandósult állapotban viszont függ a μ lépésméretétől és a bemeneti jel kondicionáltságától. Nevezetesen, a kvantálási hiba μ csökkenésével egy bizonyos határ elérése után nő. Stacionárius esetre is található tehát egy optimális μ , mely az összhibát (maradékhiba + kvantálási hiba) minimalizálja, de ez többnyire ismeretlen.

8. Megemlítjük, hogy az LMS algoritmusnak számos módosított változata van [5], [6], [9], [10], [7]. A módosítások egyrészt a konvergencia stabilizálását (pl. jelteljesítményre normalizált változat), másrészt az algoritmus gyorsítását célozzák. Ez utóbbira példa az "előjeles" algoritmus, ahol a (3-13) rekurzióban x_k helyett csak annak előjele szerepel, felére csökkentve ezáltal a műveletigényt, valamint a transzformált tartományban végzett adaptáció. A frekvenciatartományban adaptálva, szokásos szűrőhosszak esetén egy-két nagyságrenddel kisebb lehet az adaptáció műveletigénye. A Karhunen-Loève transzformáció azáltal javítja a konvergenciát, hogy az adaptáció sebessége függetlenné válik a korrelációs mátrix kondicionáltságától [7].

4. Kalman-szűrő

Az előző pontban ismertetett LMS algoritmus fő hátránya az, hogy nem használja fel az adaptációhoz az összes rendelkezésre álló információt a bemeneti jeltől s emiatt lassú a konvergenciája. A továbblépést a rekurzív becslőn alapuló algoritmusok kidolgozása jelenti. Induljunk ki abból, hogy az y_1, y_2, \dots, y_{n-1} véletlen változókból már ismerjük az x_{n-1} mennyiség legkisebb átlagos négyzetes hibájú becslőjét, $x_{n-1}(Y_{n-1})$ -et, utalva e jelölésben arra, hogy a becslést az első $n-1$ számú y_k adta ($y_k=0, k < 0$). A feladat x_n becslőjének, $x_n(n)$ meghatározása $x_{n-1}(Y_{n-1})$ és y_n ismeretében. Már itt megemlítjük, hogy a FIR szűrőkre levezetett Kalman-algoritmus alakilag az RLS (recursive least squares) algoritmussal azonos, kapcsolatukra az 5. pontban világítunk rá.

A Kalman-szűrés általánosabb feladata az alábbi [5], [6]. Egy lineáris, dinamikus, diszkrét idejű rendszer leírására az

$$x_{n+1} = \Phi_{n+1,n} x_n + v_n \quad (4-1)$$

$$y_n = C_n x_n + u_n \quad (4-2)$$

állapotegyenletet és mérési egyenletet alkalmazunk, ahol x_n az állapotvektor, y_n a rendszer kimenete; a $\Phi_{n+1,n}$ állapotátmeneti mátrix - mely a rendszer n és $n+1$ időpontbeli állapotait kapcsolja össze - és a C_n mátrix ismertek, valamint ismert a v_n és u_n független, zérus középértékű fehér zaj Q_v ill. Q_u korrelációs

mátrixa. A feladat az y_1, y_2, \dots, y_n megfigyelések birtokában meghatározni az x_k állapotvektor legkisebb átlagos négyzetes hibájú becslőjét.

Jelölje $\hat{y}_n(Y_{n-1})$ az y_n változónak az összes addigi, y_1, y_2, \dots, y_{n-1} adatokból predikált értékét. Az $\hat{y}_n(Y_{n-1})$ mennyiséghez képest az y_n valódi érték pontosan annyi új információt jelent, mint az

$$\alpha_n = y_n - \hat{y}_n(Y_{n-1}), \quad n=1, 2, \dots \quad (4-3)$$

predikációs hiba vagy innovation (Kailath). Miután v_n és u_n korrelálatlan, beszorozva a (4-1) egyenletet mindkét oldalát $u = u_n^T$ -tal és várható értéket véve

$$E\{x_k u_n^T\} = 0, \quad k, n \geq 0 \quad (4-4)$$

adódik, (4-2) felhasználásával pedig

$$E\{y_k u_n^T\} = 0, \quad 0 \leq k \leq n-1$$

$$E\{y_k v_n^T\} = 0, \quad 0 \leq k \leq n. \quad (4-5)$$

A (4-2) egyenlet alapján

$$\hat{y}_n(Y_{n-1}) = C_n \hat{x}_n(Y_{n-1}) + \hat{u}_n(Y_{n-1}) \quad (4-6)$$

írható, de (4-5) miatt (4-6) utolsó tagja zérus, vagyis a predikációs hiba (4-3) szerint kifejezhető

$$\alpha_n = y_n - \hat{x}_n C_n(Y_{n-1}) \quad (4-7)$$

alakban. Jelölje α_n korrelációs mátrixát

$$\Sigma_n = E\{\alpha_n \alpha_n^T\} \quad (4-8)$$

Az ortogonalitás elve miatt

$$E\{[x_i - \hat{x}_i(Y_n)] \alpha_k^T\} = 0, \quad k=1, 2, \dots, n \quad (4-9)$$

vagyis annak érdekében, hogy a becslőt α_k -k lineáris kombinációjaként

$$\hat{x}_i(Y_n) = \sum_{k=1}^n B_{ik} \alpha_k \quad (4-10)$$

alakban írassuk fel,

$$E\{x_i \alpha_k^T\} = B_{ik} \Sigma_k \quad (4-11)$$

következtetjük az előző két egyenletből, így tehát

$$\hat{x}_i(Y_n) = \sum_{k=1}^n E\{x_i \alpha_k^T\} \Sigma_k^{-1} \alpha_k \quad (4-12)$$

adódik. A (4-1) egyenletet beszorozva jobbról α_k^T -val és várható értéket képezve, (4-5) miatt

$$\begin{aligned} E\{x_{n+1} \alpha_k^T\} &= E\{[\phi_{n+1,n} x_n + v_n] \alpha_k^T\} = \\ &= \phi_{n+1,n} E\{x_n \alpha_k^T\}. \end{aligned} \quad (4-13)$$

Ebből következően

$$\sum_{k=1}^{n-1} E\{x_{n+1} \alpha_k^T\} \Sigma_k^{-1} \alpha_k = \phi_{n+1,n} \sum_{k=1}^{n-1} E\{x_n \alpha_k^T\} \Sigma_k^{-1} \alpha_k \quad (4-14)$$

Alkalmazva (4-12)-t $i=n+1$ -re (4-14) bal oldalán és $i=n$ -re a jobb oldalán (n helyére $n-1$ -et írva),

$$\hat{x}_{n+1}(Y_n) = \phi_{n+1,n} \hat{x}_n(Y_{n-1}) + G_n \alpha_n \quad (4-15)$$

adódik, ahol

$$G_n = E\{x_{n+1} \alpha_n^T\} \Sigma_n^{-1} \quad (4-16)$$

az ún. Kalman-erősítés.

A (4-15) egyenlet az állapotvektor $n+1$ -edik időpontban vett, első n adatból predikált értékére ad egy rekurziót. A szűrési probléma viszont $\hat{x}_n(Y_n)$ meghatározását jelenti. Ehhez a (4-1) egyenletben írjuk fel a változókat, mint legkisebb átlagos négyzetes hibájú becslőket; (4-5) figyelembevételével így

$$\hat{x}_{n+1}(Y_n) = \phi_{n+1,n} \hat{x}_n(Y_n) \quad (4-17)$$

adódik. Az állapotátmeneti mátrix definíciója szerint tehát

$$\hat{x}_{n+1}(Y_n) = \phi_{n+1,n}^{-1} \hat{x}_{n+1}(Y_n) = \phi_{n,n+1} \hat{x}_{n+1}(Y_n) \quad (4-18)$$

(4-15) felhasználásával

$$\begin{aligned} \hat{x}_{n+1}(Y_n) &= \hat{x}_n(Y_{n-1}) + \phi_{n,n+1} G_n \alpha_n = \\ &= \phi_{n,n-1} \hat{x}_{n-1}(Y_{n-1}) + \phi_{n,n+1} G_n \alpha_n \end{aligned} \quad (4-19)$$

kapjuk és (4-7) is kifejezhető

$$\alpha_n = y_n - C_n \phi_{n,n-1} \hat{x}_{n-1}(Y_{n-1}) \quad (4-20)$$

alakban. A (4-19) és (4-20) egyenlet írja le az optimális lineáris szűrőt, a Kalman-szűrőt, melynek jelfolyamábrája a 3. ábrán látható. A bemenet y_n , a kimenet $\hat{x}_n(Y_n)$. A (4-16) egyenlettel definiált Kalman-erősítés számítására is megadható egy rekurzív formula, mely az algoritmust teljessé teszi. Ennek levezetésétől eltekintünk, a végeredmény:

$$\begin{aligned} G_n &= \phi_{n+1,n} K_{n,n-1} C_n^T [C_n K_{n,n-1} C_n^T + Q_{un}]^{-1} \\ K_{n+1,n} &= \phi_{n+1,n} K_n \phi_{n+1,n}^T + Q_{vn} \\ K_n &= K_{n,n-1} - \phi_{n,n+1} G_n C_n K_{n,n-1} \end{aligned} \quad (4-21)$$

Kezdeti feltételek:

$$\hat{\mathbf{x}}_1(0) = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{K}_1(0) = E\{\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_1^T\}. \quad (4-22)$$

A Kalman-szűrőt adaptív FIR szűrő algoritmus kialakítására többen is alkalmazták, az alábbiakban Godard módszerét követjük.

Először a stacionárius jeleket feldolgozó adaptív FIR szűrővel foglalkozunk (1. ábra). Ennek optimális együttthatóvektorát a Wiener-Hopf egyenlet definiálja, a stacionaritás következtében

$$\mathbf{h}_{n+1} = \mathbf{h}_n (= \mathbf{h}_{opt}). \quad (4-23)$$

Ez felel meg a (4-1) állapotegyenletnek,

$$\mathbf{d}_n = \mathbf{x}_n^T \mathbf{h}_n + e_n \quad (4-24)$$

pedig a mérési egyenletnek. A Kalman-szűrő elméletét alkalmazva erre a speciális estre, az alábbiak adódnak:

$$(4-19) \rightarrow \hat{\mathbf{h}}_n = \hat{\mathbf{h}}_{n-1} + \mathbf{g}_n \alpha_n \quad (4-25)$$

$$(4-20) \rightarrow \alpha_n = \mathbf{d}_n - \mathbf{x}_n^T \hat{\mathbf{h}}_{n-1} \quad (4-26)$$

$$(4-21) \rightarrow \mathbf{g}_n = \mathbf{K}_{n-1} \mathbf{x}_n [\mathbf{x}_n^T \mathbf{K}_{n-1} \mathbf{x}_n + J_{min}]^{-1} \quad (4-27)$$

$$\mathbf{K}_n = \mathbf{K}_{n-1} - \mathbf{g}_n \mathbf{x}_n^T \mathbf{K}_{n-1} \quad (4-28)$$

A (4-27) egyenletben az e_n hiba optimális értékéhez tartozó varianciáját J_{min} -nel jelöltük, ez a Wiener-megoldás hibaértéke (l. a (3-17) egyenlet).

Kezdeti feltételek (4-22) szerint

$$\hat{\mathbf{h}}_0 = \mathbf{0}, \mathbf{K}_0 = E\{\mathbf{h}_0 \mathbf{h}_0^T\} = c\mathbf{I}, c > 0 \quad (4-29)$$

Az algoritmus megkívánja J_{min} a priori ismeretét. Mivel ez a gyakorlatban ismeretlen, az alábbi becsléssel szokás élni:

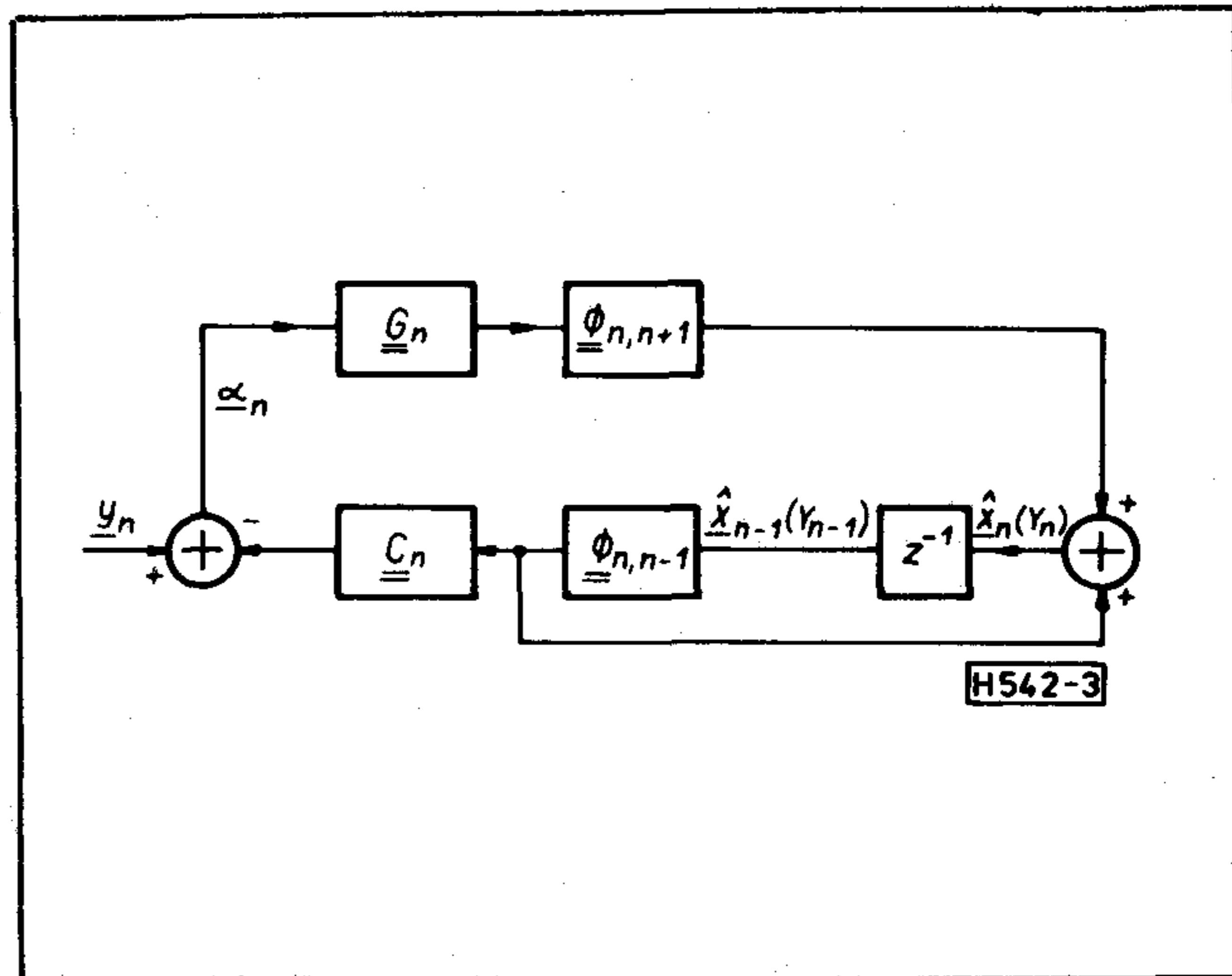
$$J_{min} \sim \frac{\sigma_d^2}{100} \dots \frac{\sigma_d^2}{1000} \quad (4-30)$$

A (4-25)-(4-30) egyenletekkel definiált Kalman-algoritmus főbb tulajdonságai az alábbiak:

1. Az algoritmus a Wiener-optimumhoz konvergál ergodikus folyamatok esetén:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \hat{\mathbf{h}}_n = \mathbf{h}_{opt} \quad (4-31)$$

Emiatt a Kalman-algoritmus maradékhibája nulla. Az LMS algoritmusnál viszont nem maga az együttthatóvektor, hanem annak csak a sokaság szerinti átlagértéke konvergál az optimumhoz.



3. ábra A Kalman-szűrő jelfolyamábrája

2. A Kalman-szűrő a becsléshez az összes addigi információt felhasználja az LMS algoritmussal ellentétben, aminek az a következménye, hogy konvergenciája tipikusan egy nagyságrenddel gyorsabb (1. a 2. ábrát).

3. A Kalman-algoritmus elvileg mindig stabil, az LMS algoritmus nem.

4. A kedvező tulajdonságok ára a lényegesen nagyobb, $O(N^2)$ számításigény a mátrix-vektor szorzások miatt.

A Kalman-szűrő második alkalmazása adaptív FIR szűrőkre a nemstacionárius jelek esete. A nemstacionaritás arra vezet, hogy az együttthatóvektor időben véletlenszerűen változik:

$$\mathbf{h}_{n+1} = \mathbf{h}_n + \mathbf{v}_n \quad (4-32)$$

$$E\{\mathbf{v}_n\} = \mathbf{0}, E\{\mathbf{v}_n \mathbf{v}_n^T\} = \mathbf{Q}_v \quad (4-33)$$

A mérési egyenlet

$$\mathbf{d}_n = \mathbf{x}_n^T \mathbf{h}_n + e_n \quad (4-34)$$

A Kalman-algoritmus ekkor az alábbi:

$$(4-19) \rightarrow \hat{\mathbf{h}}_n = \hat{\mathbf{h}}_{n-1} + \mathbf{g}_n \alpha_n \quad (4-35)$$

$$(4-20) \rightarrow \alpha_n = \mathbf{d}_n - \mathbf{x}_n^T \hat{\mathbf{h}}_{n-1} \quad (4-36)$$

$$(4-21) \rightarrow \mathbf{g}_n = \mathbf{K}_{n-1} \mathbf{x}_n [\mathbf{x}_n^T \mathbf{K}_{n-1} \mathbf{x}_n + \frac{J_{min}}{1+q}]^{-1} \quad (4-37)$$

$$\mathbf{K}_n = (1+q)[\mathbf{K}_{n-1} - \mathbf{g}_n \mathbf{x}_n^T \mathbf{K}_{n-1}] \quad (4-38)$$

ahol \mathbf{Q}_v értékére szükség volt, ezért feltételeztük, hogy $\mathbf{Q}_v = q\mathbf{K}_n$. Kis q esetén lassú a konvergencia, jó a követés, nagy q esetén fordítva van. A \mathbf{Q}_v mátrix ilyen

közelítése tapasztalat szerint általában kielégítő eredményekre vezet viszonylag lassan változó környezet esetén.

A Kalman-szűrő minimális varianciájú becslő, mert a (4-28) ill. (4-38) egyenletben álló

$$K_n = E\{(x_n - \hat{x}_n(Y_n)) (x_n - \hat{x}_n(Y_n))^T\}$$

mátrix nyomát minimalizálja. Gauss-folyamatok esetén az optimális szűrőt, míg nem Gauss-folyamatok esetén az optimális lineáris becslőt adja.

IRODALOM

[1] Caraiscos, C. - Liu, B.: A roundoff error analysis of the LMS adaptive algorithm. IEEE Trans. ASSP, vol. ASSP-32, No. 1, Feb. 1984, pp. 34-41.

[2] Carayannis, G. - Manolakis, D.G. - Kalouptsidis, N.: A fast sequential algorithm for adaptive filtering. IEEE Trans. ASSP, vol. ASSP-31, No. 6, Dec. 1983, pp. 1394-1402.

[3] Cioffi, J.M.: Limited-precision effects in adaptive filtering. IEEE Trans. CAS, vol. CAS-34, No. 7, July 1987, pp. 821-833.

[4] Cioffi, J.M. - Kailath, T.: Fast, recursive-least-squares transversal filters for adaptive filtering. IEEE Trans. ASSP, vol. ASSP-32, No.2, Apr. 1984, pp. 304-337.

[5] Cowan, C.F.N. - Grant, P.M.: Adaptive filters. Prentice-Hall, Engl. Cliffs, N.J., 1985.

[6] Haykin, S.: Adaptive filter theory. Prentice-Hall, Engl. Cliffs, N.J., 1986.

[7] Narayan, S.S. - Peterson, A.M. - Narashimha, M.J.: Transform domain LMS algorithm. IEEE Trans. ASSP, vol. ASSP-31, No. 3, June 1983, pp. 609-614.

[8] Robbins, H. - Monro, S.: A stochastic approximation method. Ann. Math. Statis., vol. 22, 1951, pp. 400-407.

[9] Treichler, J.R. - Johnson, C.R. - Larimore, M.G.: Theory and design of adaptive filters. J.Wiley, N.J., 1987.

[10] Widrow, B. - Stearns, S.: Adaptive signal processing. Prentice-Hall, Engl. Cliffs, N.Y., 1985.

SZEMLE

Összeállította: Gál Ferenc

Az Advanced Computer Pte Ltd szingapuri számítógépes cég 1.78 millió USD értékben szállít 800 db Multitech és Artech személyi számítógépet Lengyelországnak az év folyamán.

(Far Eastern Technical Review, 1988. január)

*

Franciaország távközlési kutatóintézete, a CNET bemutatta a "Visage" projekt keretében kifejlesztett képtelefonjainak első prototípusait. A "Visage" program célja: képátvitel megvalósítása integrált szolgáltatású digitális hálózatokon.

Franciaországban és az NSZK-ban 1992-ben kívánják bevezetni ezt a rendszert, amelynek első próbáit 1987 végén kezdték a franciaországi Bretagne-ban. A szokásos telefonvonalakon 64 kbit/s sebességgel visz-

nek át adatokat vagy digitálissá alakított képet (a beszélgetési időn kívül).

Analóg átvitel esetén a képinformáció átvitele 2000 telefonvonalnyi átviteli sávszélességet igényelne, itt viszont egyetlen vonal áll rendelkezésre. A megoldás: a beszéd 9... 10 s-od szüneteltetésével (ennyi idő szükséges egy kép átviteléhez) állóképet visznek át a beszélőpartnerről (miniatűr kamera és kb. 10 cm átmérőjű színes képernyő segítségével).

A rendszert professzionális alkalmazásokra is szánják: adatbankokhoz és a többi terminálkhoz lehet kapcsolódni vele. Konferenciakapcsolással megbeszélések tartására is alkalmas.

(La Recherche, 1987. december - OMIKK Mikroelektronikai Gyorstájékoztató, 1988/5.)

BESZÁMOLÓ A "STOCHASTISCHE MODELLE UND METHODEN IN DER INFORMATIONSTECHNIK" CÍMŰ VDE NAPOKRÓL

(Erlangen-Nürnberg, 1989. április 12-14.)

A Philips Vállalat, Nürnberg városa és az Erlangen-Nürnberg Egyetem képviselőinek köszöntője után először E. Hänsler (Technische Hochschule Darmstadt) tartott áttekintő bevezető előadást a konferencia címével megegyező témában, majd, H. Marko (Technische Universität München) "Szabályozott információ források és a kommunikáció" címen olyan információforrások analizésével foglalkozott, amelyek statisztikai tulajdonságai a kommunikációs partnertől származó információktól is függenek.

Ezt követően 42 előadás és 7 poszter ismertetése hangzott el egyetlen szekcióban, tematikusan összefogott blokkokban. A főbb témakörök és azok rövid áttekintése a következő:

1./ Kép- és hangjelek forráskódolása (8 ea., 1 poszter)

A szekción belül érdekes előadást tartottak R. Mester, U. Franke és T. Aach (RWTH Aachen) "A természetes képek modellezésének fejlődése" címen, melyben elsősorban a képek formai, és texturális leírásával foglalkoztak, összehasonlítva a globális és blokk szintű stacioner modelleket. A szerzők a két módszer kombinálásával egy új modellezési elvet fogalmaztak meg. Ugyancsak érdekes kérdéseket tárgyalt P. Vogel (Philips, Nürnberg), aki mozgó képek "rate distortion" függvényének felső korlátját határozta meg ergodikus források esetén.

A beszéd kódolás területén külön említést érdemel H. Behm (Univ. Erlangen-Nürnberg) előadása, amely kísérleti eredményekre támaszkodva sávkorlátozott beszédjelek lattice-kvantálási módszerét ismertette.

2./ Tömegszolgáltatás-elméleti módszerek és kommunikációs hálózatok (9 ea., 2 poszter)

Klasszikus témákat tárgyalt P. Tran-Gia (Univ. Würzburg), valamint W. Ding és F. Schreiber (TU Aachen) a G/G/1 és M/M/1 rendszerek analizésével kapcsolatban. Az előbbi elsősorban a cepstrum módszer alkalmazásával, míg az utóbbi a lokális korrelációs tényező bevezetésével mutatott be új és figyelemre méltó vizsgálati lehetőségeket.

Több előadás is foglalkozott az ATM (Asynchronous Transfer Mode) rendszerek architektúrájával, modellezési módszereivel, teljesítményanalízisével, valamint késleltetési idő elemzésével.

3./ Átviteltechnikai sztochasztikus modellek és átviteltechnikai eljárások (10 ea., 2 poszter)

A szekción belül az előadások többsége a páneurópai digitális mobil rádiórendszer fontos kérdéseivel foglalkozott. Köztük R. W. Lorenz (Bundespost, Darmstadt) a GSM rendszer csatornamodelljét vizsgálta, W. Koch (Philips, Nürnberg) a Gilbert-Elliott kétállapotú csatornamodell alkalmazási lehetőségeit elemezte a TDMA rendszerekben, G. K. Grünberger (Siemens, München) pedig a többutas terjedés hatását modellezte a Rummler által 1977-ben elvégzett kísérleti munkák eredményeire támaszkodva.

A szekció második részének bevezető előadásában C-E. W. Sundberg (Bell Laboratories) áttekintést adott a folytonos fázisú, állan-

dó amplitúdójú modulációs technikákról, ezen belül külön foglalkozott a konvolúciós kódok alkalmazásával, majd összehasonlítást tett a különböző folytonos fázisú modulációs rendszerek és a QAM, valamint az AMPM rendszerek között. Kiemelkedő jelentőségű eredményekről számoltak be J. Huber és W. Liu (Univ. der Bundeswehr, München), akik a folytonos rendszerű modulációs rendszerekben egy új, redukált komplexitású vevőkészüléket javasoltak. E megoldás várhatóan alapvetően befolyásolja a terület technikai továbbfejlődését.

Érdekes előadást tartott J. Nossek (Siemens, München) is, aki a sávtakarékos, nagybonyolultságú QAM modulációs technikák rendszertechnikai kérdéseivel foglalkozott. Külön kiemelkedő az a nagysebességű időtartománybeli adaptív kiegyenlítő áramkör, amelynek VLSI megvalósításáról is beszámolt.

4./ Csatornakódolás és adaptív rendszerek (9 ea., 2 poszter)

J. Hagenauer (DFVLR) előadása az általa néhány évvel korábban bevezetett ún. lyukasított konvolúciós kódok alkalmazási lehetőségeit vizsgálta nem egyenletes hibavédelem megvalósítására a GSM rendszerben. Emellett több előadás is foglalkozott a trellis kódolás teljesítményanalízisével, illetve a Reed-Solomon kódok alkalmazásával. Az előadások másik fele az iterferenciák adaptív elnyomásának kérdéseit tárgyalta különböző csatornák esetén.

5./ Becslési módszerek a digitális vevőkben (6 ea.)

A szekció meghatározó előadását H. Meyr (TU Aachen) tartotta a kommunikációs rendszerekben alkalmazható digitális jelfeldolgozási módszerekről, modellekről, algoritmusokról és architektúrákról. Az általános áttekintés során ismertetett példák önmagukban is új irányokat mutattak a digitális vevőkészülékek kialakítására és elsősorban a szinkronizálás megvalósítására. Külön említést érdemel, hogy a szerző példaként beszámolt egy olyan VLSI áramkör-ről is, amely 100 Mbit/sec sebességig alkalmas a Viterbi-algoritmus realizálására.

Összefoglalva megállapítható, hogy mintegy 200 (kevés kivétellel német) résztvevő jelent meg és vett részt folyamatosan és igen aktívan a konferencián. A konferencia lehetőséget nyújtott arra, hogy B. Dorsch és J. Hagenauer professzorokkal személyesen is találkozzunk, és ezzel a korábbi kapcsolatokat erősítsük. J. Hagenauer professzor ígéretet tett arra, hogy meghívásunkra – később egyeztetett időpontban – látogatást tesz Magyarországon, és beszámol kutatási eredményeiről.

A modellezés feladatai és problémái a távérzékelésben

DR. FERENCZ CSABA
MTA (ELTE Geofizikai Tanszék)

ÖSSZEFOGLALÁS

Mind világszerte, mind hazánkban gyorsan fejlődik a távérzékelés és ezen belül a különféle célú modellezés. A cikkben – amelyik a "Remote sensing is a tool for soil sciences" nemzetközi konferencia (1988) modellezés szekciója meghívott nyitóelőadását tartalmazza – a távérzékelési modellezés alapkérdéseit mutatjuk be. Ez remélhetőleg segíteni fogja a hazánkban is egyre több helyen folyó távérzékelési munkát, de általában is és a híradástechnikában különösen a modellezés különféle területein hasznosnak gondolt osztályozást mutat be.

1. Bevezetés

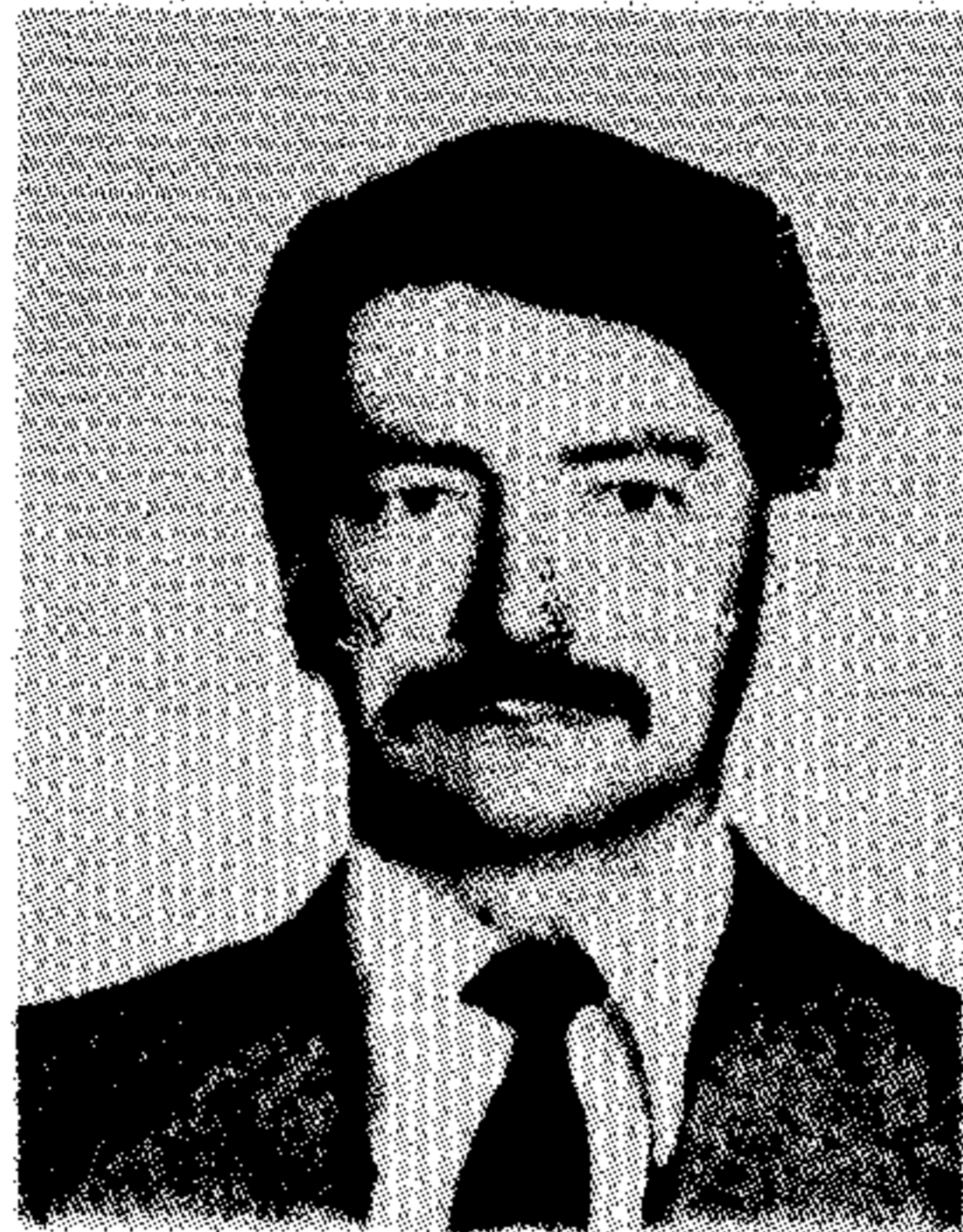
A jelen cikkben a modellezés feladataival a távérzékelésben használatos modellek problémáival foglalkozom, alapvetően a felszín – a talaj, a növényzet – vizsgálati szempontjait szem előtt tartva. Azonban a modellezésben a határok nem húzhatók meg szigorúan. Egy-egy modell több vagy sok területen is felhasználható. Ezért a továbbiakban specifikus felhasználói területi kérdésekkel nem foglalkozom.

Annak ellenére, hogy nem céлом a modellezés jelenlegi helyzetéről áttekintést adni, természetesen a jelenlegi helyzet impliciten tükröződik írásomban.

2. A távérzékelési feladat

Egy reális távérzékelési szituációt mutat az 1. ábra. Nyilvánvaló, hogy az igen bonyolult valóságos helyzet kvantitatív tárgyalása csak alapvetően egyszerűbb modell-elrendezések alapján kísérhető meg. Egy lehetséges modell-vázlatot a 2. ábrán láthatunk. A modell-vázlat a kvantitatív vizsgálat alapja. Elkészítésekor kell figyelembe venni a valódi feladat megoldásához szükséges pontosságot és a kvantitatív tárgyalásban ma rendelkezésre álló vagy kifejleszthető módszerek lehetőségeit.

A távérzékelés során a vizsgált jelenségről – most a vizsgált felszínről – az érzékelőbe érkező elektromágneses jel egy vagy több jellemzőjét mérjük meg. Pontosabban az érzékelőt a vizsgálni kívánt felszíndarab felé fordítjuk és a beérkező elektromágneses jelet regisztráljuk. Ma legtöbbször egy szélesebb spektrális sávban a beérkező teljesítményt mérjük és a műszert általában radianciában kalibráljuk (pl. Landsat-MSS vagy TM). De vizsgálhatunk polarizációt, frekvenciát, futási időt stb. is. A vett jel forrása lehet természetes,

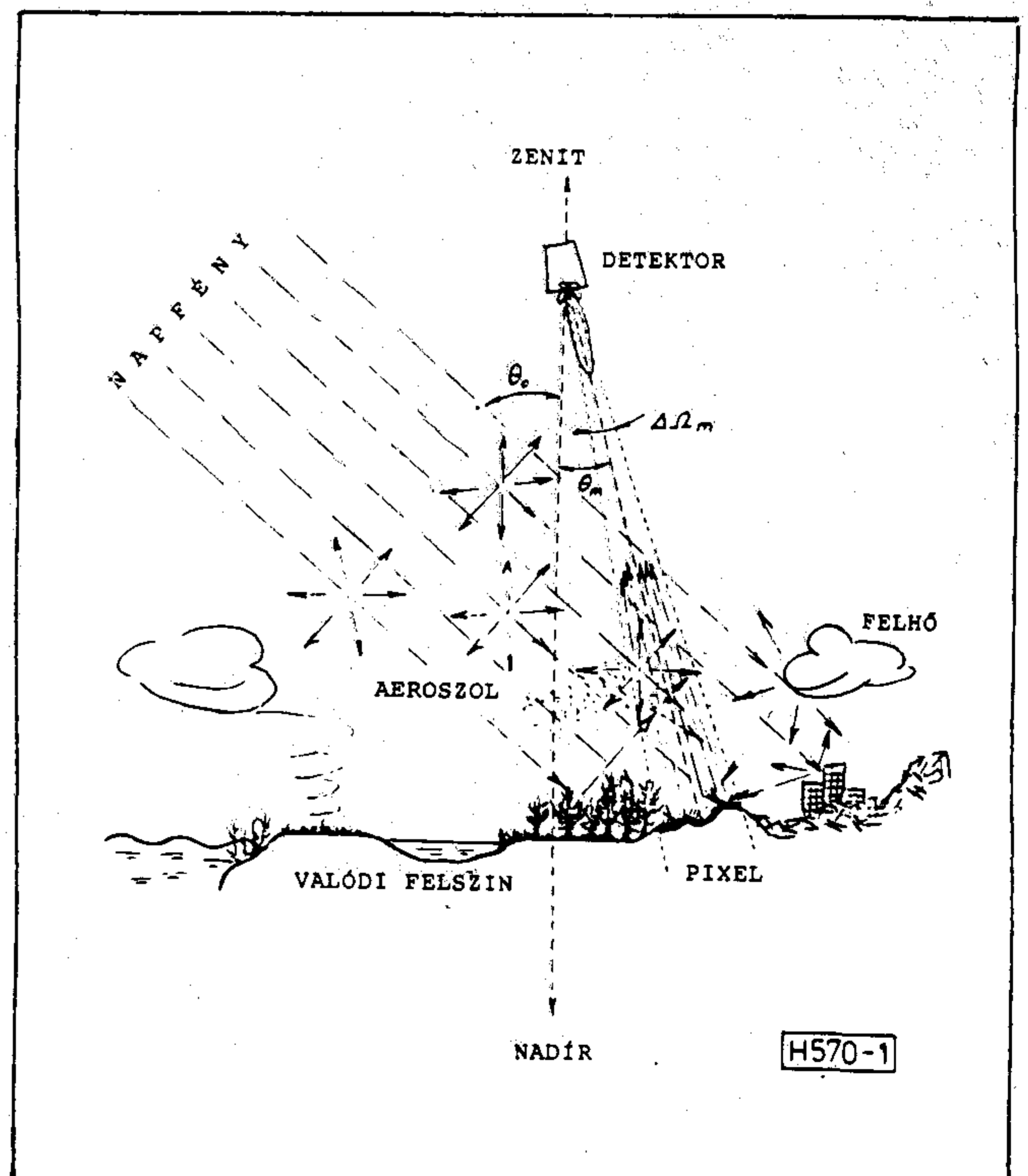


DR. FERENCZ CSABA

1941. X. 23-án Csíksomlyón született. Középiskolai tanulmányait Békésen végezte, majd 1964-ben a Budapesti

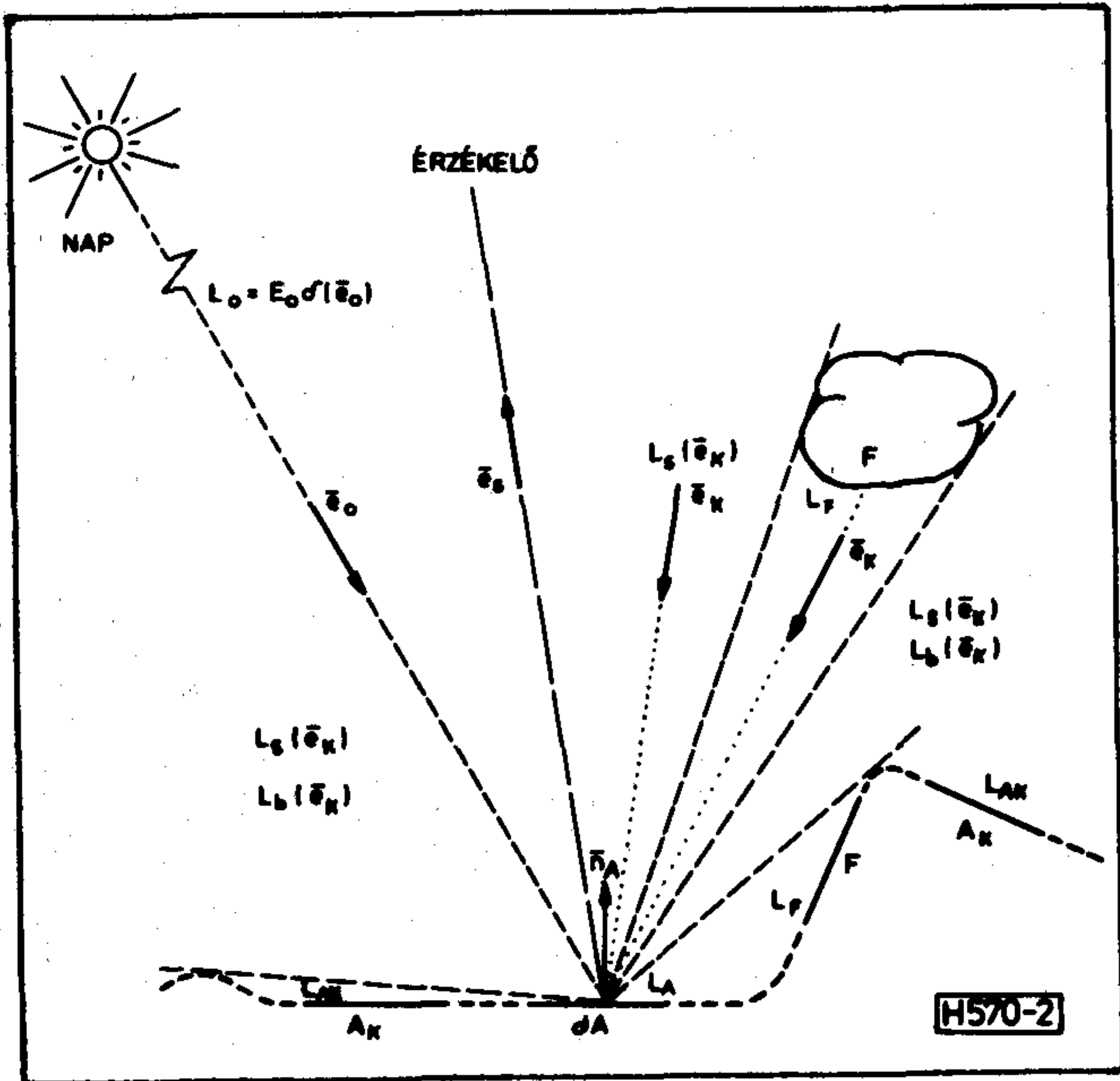
Műszaki Egyetemen híradástechnikus villamosmérnök-ként kitüntetéses oklevelet szerzett. 1968-ban "Sub auspiciis rei publicae popularis" kitüntetéssel egyetemi doktorrá avatták. 1972-től a műszaki tudományok kandidátusa, majd 1981-től a műszaki tudományok doktora. 1961 óta foglalkozik úrkutatással folyamatosan, mérnöki, kutatói és tudományszervezői tevékenysége döntően e területre esik. Az úrkutatásban végzett munkájáért 1980-ban az Elnöki Tanács a Munka Érdemrend arany fokozatával tüntette ki.

külső forrás – esetünkben a Nap. Ma még ez a domináns, bár már nem elsőprő e többség. Lehet a jel forrása maga a vizsgált felszín, pl. hő-IR. Lehet természetesen a vizsgált felszín és külső forrás egyszerre. Végül a külső forrás lehet mesterséges is – pl. altimeter, MW scatterometer ... A Nap és a mesterséges jel forrás (rádióadó stb.) között a legfontosabb különbség, hogy a Napból beérkező jel síkhullám még a Föld



1. ábra. Jellegzetes távérzékelési szituáció

* Beérkezett: 1989. IX. 6. (H)



2. ábra. Egy valódi szituáció általános modell-vázlata

- L_0 - közvetlen napsugárzás (radiancia);
- L_s - diffúz égbolt sugárzás (radiancia);
- L_b - szórt illetve visszaszórt sugárzás, amely dA -ról, F -ről vagy A_k -ről ered (radiancia);
- dA - az elemi cél-felület;
- F - a dA -ról közvetlenül látható, szomszédos felületek;
- A_k - a dA -ról közvetlenül nem látható szomszédos felületek;
- L_A, L_F, L_{AK} - a szomszédos felületek sugárzása (radiancia);
- e_0, e_k, e_s - irány-egységvektorok;
- n_A - a dA felület normális egységvektora.

méreteivel összevetve is. Ugyanakkor a mesterséges jelforrásból érkező jelnél az r^2 -nal arányos teljesítménysűrűség-csökkenést is és az adóantenna iránykarakterisztikája miatt fellépő nem-egyenletes teljesítménysűrűség-eloszlást is figyelembe kell venni. Ezekről a feladat kiindulási feltételeit megadó megkötésektől azonban csak a modellezés részletmeggfontolásai függenek, az alapfeladat nem.

A továbbiakban a Nap legyen a jelforrás és az optikai, közeli-IR sávokat tekintve vázoljuk a távérzékelési modell-vázlat tárgyalását, megadjuk az általános besugárzási és érzékelési egyenletet. Ez segíteni fog a problémák és feladatok általános áttekintésében, hiszen következtetéseinket nem akarjuk részletekre vonatkoztatni majd.

A földpálya adott pontján a légkör tetejére $E_{00}(\lambda)$ teljesítménysűrűségű jel érkezik a λ hullámhosszon. Ez után az alapvető folyamatokat a 2. ábra alapján tekintjük át. A dA vizsgált felületemről nézve három féle térszögtartományt különböztethetünk meg az n_A normális egységvektor által kijelölt féltérben. Ezek, amelyeket $S(\Omega)$ vektoriális illetve $l(x)$ skaláris Heaviside-féle disztribúciókkal jelölünk ki:

- a Nap által lefedett térszögtartomány, ahol $S_0(\Omega) = 1$;
- a dA -ról látható F felületek által fedett térszögtartomány, ahol $S_F(\Omega) = 1$;

- a szabad égbolt, ahonnan csak a földi légkörből szóródó diffúz fényteltjesítmény esik be dA -ra, azaz $S_0(\Omega) = 0, S_F(\Omega) = 0$, és $l(\pi/2 - \theta_k) = 1$.

$S_0(\Omega)$ pontszerű Nap-modell esetén $\Delta\Omega = 0$ tartományt fed le és ekkor a Nap radianciája a légkör tetején $L_0 = E_{00} \delta(e_0)$, ahol δ a Dirac-disztribúció. De dolgozhatunk véges kiterjedésű Nap-modellel is. A három tartományból belépő radiancia (L_{in}) így a 2. ábra jelöléseivel:

$$L_{in}(e_k) = \begin{cases} \{L_0 \alpha_p(e_0) + L_s(e_k, e_0) + L_{bA}(e_k) + \\ + L_{bF}[e_k, F(r)] + L_{bAk}[e_k, A_k(r)]\}; & \text{ha } e_k \in S_0(\Omega) = 1; \\ \{L_F \alpha_p(e_k) + L_s(e_k, e_0) + L_{bA}(e_k) + \\ + L_{bF}[e_k, F(r)] + L_{bAk}[e_k, A_k(r)]\}; & \text{ha } e_k \in S_F(\Omega) = 1; \\ \{L_s(e_k, e_0) + L_{bA}(e_k) + L_{bF}[e_k, F(r)] + \\ + L_{bAk}[e_k, A_k(r)]\}; & \text{ha } e_k \in S_0, S_F \text{ és } 0 \leq \theta_k < \pi/2. \end{cases} \quad (1)$$

ahol r a helyvektor, α_p az útszűrés. Már az (1) egyenlet kapcsán fel kell figyeljünk arra, hogy a megvilágítás összetettsége következtében L_{in} -ben különféle forrásokból (pixelekből) eredő jelek keverednek össze. Ha dA egy $f_r(e_k, e_s)$ BRDF-fel jellemezhető, akkor a detektor irányába szórt radiancia

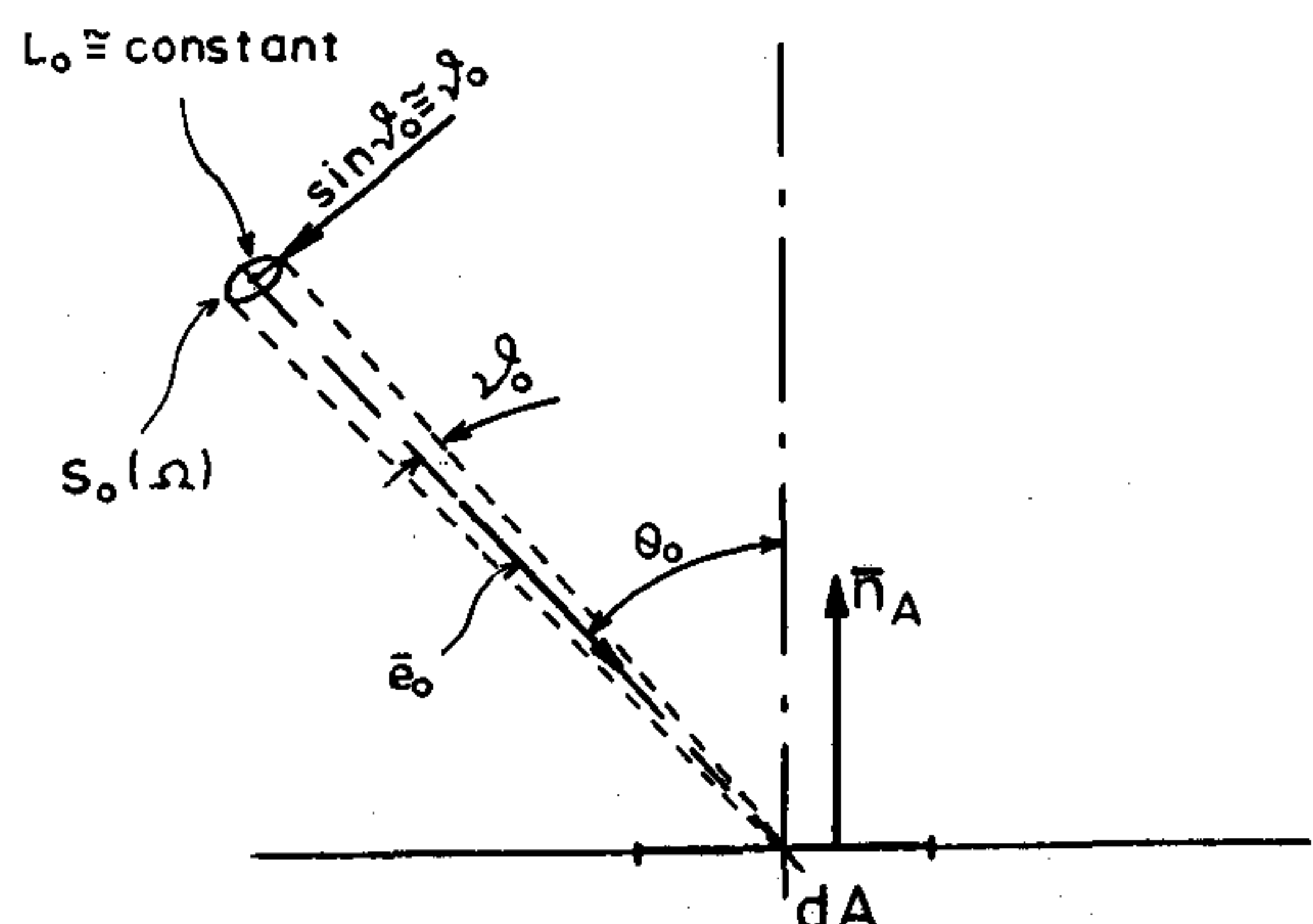
$$L_{DA}(e_s) = \iint_{0 \leq \theta_k \leq \pi/2} f_r(e_k, e_s) \cdot L_{in}(e_k) \cos \theta_k d\Omega(e_k) \quad (2)$$

A mérhető jel ezek után a műholdnál, ha a sugárút-radiancia L_p ,

$$L_M(e_s) = L_{DA}(e_s) \alpha_p(e_s) + L_p(e_s, e_0) + L_{pA}(e_s, e_0); \quad (3)$$

$$L_{PT}(e_s, e_0) = L_p(e_s, e_0) + L_{pA}(e_s, e_0); \quad (4)$$

Tudjuk, hogy L_{PT} -ben is többféle információ keveredik. A 2. ábrán látható esetben $L_{pA} = 0$, de általában értéke pixel-méret és domborzat függő (3. ábra). Aktív (pl. radaros) távérzékelés illetve a felszín saját (pl. hő-IR) sugárzása esetén az (1)-(3) egyenletek értelemsze-



3. ábra. A sugárút-fénylés topográfia függése

rúen módosulnak, de alapvető elvi szerkezetük megmarad.

Megállapíthatjuk, hogy a modellezés elvi háttere az elektromágneses hullámterjedés, szóródás, abszorpció stb. elmélete és módszertana. Ezért a kvantitatív vizsgálatokban a hullámterjedési problémákat ismerni és kezelni kell. A modellezés másik fontos és kikerülhetetlen peremfeltétele az, hogy mintavételezett jellel dolgozunk és a mintavételezésből adódó korlátoktól nem tekinthetünk el. A 2. ábra is mutatja, hogy $L_M(e_s)$ frekvencia (hullámhossz), terjedési irány (e_s) és térbeli, dA helye szerint mintavételezett jel. Mivel a mérés adott időpillanatra vonatkozik, $L_M(e_s)$ idő szerinti mintavételezést is jelent. A mintavételezés mindig tartalmaz valamilyen átlagolást – pl. a hullámhossz szerint. E mellett a mintavételező "ablak"-ok átviteli függvényei összeérnek, átfednek.

Mindezeknek két következménye van:

- Korlátozott a még észlelhető változás, a vizsgált jelenség felismerhetősége. De nem egyszerűen a pixel-méret, nyálábélesség, ... szabja meg a felismerhetőség határát. Ez csak egy-egy technikai paraméter, amelyet a vizsgált jelenség tulajdonságaival együtt (pl. lineamentum) figyelembe véve a felismerhetőség a mintavételezési tételek explicit vagy implicit alkalmazásával határozható meg.
- Minden távérzékelte adat, a felbontástól (pixel-mérettől) függetlenül kikerülhetetlenül kevert információt hordoz, azaz *mixed-pixel*. A kevert információ szétválasztása csak a megfelelő modelleket alkalmazó interpretáció során lehetséges, magában a mérésben nem. A pixel-adat még akkor is kevert, ha homogén, sík felszínt vizsgálunk homogén légkörön keresztül, csak ebben az ideális esetben az információ szeparációja elemien egyszerű.

3. A modellek áttekintése hullámterjedési szempontból

Az előzőek fényében a modelleket három fő szempont szerint csoportosíthatjuk: a hullámhossz szerint, a jel-forrás természete szerint és a modell hullámterjedési karaktere szerint.

3.1. A modellek csoportosítása a jel hullámhossza (λ) szerint:

Folyamatosan változó, bővülő felosztás, amelyik pontosan igazodik a teljes elektromágneses spektrum szólasos sávellrendezéséhez. A ma használt sávoknak megfelelően ismerünk:

- Optikai sávú modelleket, amelyek magukba foglalják a látható és közeli-IR tartományokat.
- Infravörös sávú modelleket, amelyek a távoli-IR és a hő-IR tartományokat fogják át.
- Mikrohullámú (MW) modelleket, amelyek a mm hullámhossztartományt átfogva igen változatosak.

E modell-felosztás csoportjaiban elvileg közös az elektromágneses hullámterjedési háttér. Ugyanakkor specifikus különbségek vannak köztük. Ezek alapja a következőkben összegezhető:

$$D_{\text{eff}}/\lambda = l$$

A felszín és az átjárt közeg saját sugárzása

- Optikai: általában $l \gg 1$, általában elhanyagolható illetve nincs, kivétel a speciális esetekben vizsgált fluoreszcencia;
- IR: $l \gg 1$ illetve $l > 1$, van és nem hanyagolható el;
- MW: $l \leq 1$ illetve $l \ll 1$, van és a méréstől függ, hogy a modellben figyelembe kell-e venni, vagy elhanyagolni.

D_{eff} itt az átjárt közeg, illetve a vizsgált felszín egyszerű molekulánál (pl. O_2 , H_2O) nagyobb, független komponenseinek, szemcséinek, illetve felszíni alakzatainak, egyenletlenségeinek egy jellemző (effektív) mérete. A fentiektől függenek egy adott modellben megengedhető elhanyagolások, a fellépő jelszóródás, illetve jelreflexió természete és tárgyalásmódja, a jel behatolási mélysége, a jel/közeg illetve felszín kölcsönhatást megszabó jellemzők (permittivitás, reflektancia, csillapítási tényezők stb.) meghatározásakor alkalmazandó közelítés, amelyik általában fenomenológiai módszer, de a kis hullámhosszakon már szükség lehet az ún. fenomenológiai kvantumelektrodinamika alkalmazására is.

3.2. A modellek csoportosítása a hullámfront alakja szerint:

Két nagy csoportot különböztetünk meg:

a) Síkhullám megvilágítás:

A jel forrása vagy távol van (pl. Nap), vagy nagy kiterjedésű felszín (pl. földfelszín hőszugárzása) illetve nagy kiterjedésű közeg (pl. az atmoszféra sugárzása).

E csoportba tartoznak a passzív távérzékelési modellek majdnem kivétel nélkül.

Jellemzői:

- A terjedő jel teljesítménysűrűsége (S) veszteségmentes esetben a távolságtól függetlenül állandó; $S \cong$ állandó.
- A felszín stb. megvilágítása az addig átjárt közeg inhomogenitása által modulált, és így kvázi-egyenletes energiasűrűségű – a legtöbb modellben egyenletes energiasűrűségűnek vett – jellel történik.

b) Irányított gömbhullámmal közelíthető megvilágítás:

A jel kvázi-pontforrásból származik, amely nincs nagyon messze, azaz a jel besugárzásig megtett útja és

a vizsgált területtől a detektorig megtett útja jó közelítéssel azonos (pl. radar), vagy közel azonos nagyságrendbe esik, esetleg a vizsgált területtől a detektorig megtett út jóval nagyobb, mint a jelforrástól a vizsgált területig megtett út.

E csoportba tartoznak az aktív távérzékelési modellek, de ide sorolandó a speciális távérzékelési feladat is.

Jellemzői:

- A terjedő jel teljesítménysűrűsége veszteségmentes esetben is a távolságtól (r) függ; gömbhullám-közelítésben $S \approx r^{-2}$.
- A felszín stb. megvilágítása nem-egyenletes energiasűrűségű, hanem alapvetően függ a jelforrás sugárzási karakterisztikájától (antenna iránykarakterisztika stb.). E mellett az átjárt közeg eloszlást moduláló hatása általában teljesen elhanyagolható.

3.3. A modellek felosztása az általános sugárzási egyenletek alapján:

Ekkor három nagy csoportot különböztethetünk meg. A modellek e szempontból hovatartozásának lényeges befolyása van mind a távérzékelési feladat praktikus megoldhatóságára, mind a megoldás technikai és pénzügyi feltételeire. Ugyanakkor adott feladat esetén általában kevésbé vagy egyáltalán nem befolyásolhatjuk azt, hogy a feladathoz tartozó modell melyik csoportba tartozik. A csoportok bemutatására a földfelszín távérzékelését tekintjük az (1)~(4) egyenletekkel leírható általános feltételek mellett, amely a 3.1.a) és 3.2.a) csoportba tartozó eset. Ezt csak a magyarázat egyszerűsítése végett tesszük, s a bemutatandó kategóriák teljesen általánosak minden távérzékelési feladatra.

a) Szeparálható modellek:

Ebben a számítási szempontból legkedvezőbb esetben a jel terjedésének egyes szakaszai egymástól függetlenül modellezhetők és e különálló modellrészek egyesíthetők a végső modellben. A fő szakaszok:

- a beeső megvilágító jel terjedése a felszínig: példánkban $L_{in}(e_k)$ -ban L_0 $\alpha_p(e_0)$ és $L_s(e_k, e_0)$ mellett a többi tag elhanyagolható;
- a felszín viselkedésének leírása: példánkban $f_r(e_k, e_s)$ $L_{in}(e_k)$ -től függetlenül tárgyalható;
- a jel terjedése a felszíntől az érzékelőig: példánkban $\alpha_p(e_s)$ és $L_{PT}(e_s, e_0) = L_p(e_s, e_0)$ $L_{DA}(e_s)$ -től függetlenül tárgyalható.

A tett feltevések maradéktalanul általában nem teljesülnek. Ugyanakkor az $L_M(e_s)$ meghatározásakor illetve inverziójakor olyan nagy előnyei vannak a szeparálhatóságnak, hogy a bonyolultabb modellek esetén is megkíséreljük az adott feladatban megtehető megszorításokkal a modellt szeparálhatóvá egyszerűsíteni. Ez az egyszerűsítés vízszintes síkfelületek nadír irányú

észlelésekor egyszerűbb légköri terjedési leírás mellett reménybeli. – Megjegyzendő, hogy $\alpha_p(e_s)$ a hullámterjedés illetve hullámszóródás természetéből adódóan a számunkra fontos feladatokban általában szeparálható.

b) Részben szeparálható modellek:

Ez esetben a teljes távérzékelési modellben a jel terjedésének nem minden szakasza tárgyalható a másiktól függetlenül. A szeparálhatóság legtöbbször a következők szerint alakul:

- a beeső jelből és a felszín BRDF-jéből együtt alakul ki a megvilágító és az érzékelő felé szórt jel: példánkban $L_{in}(e_k)$ és $L_{DA}(e_s)$ nem szeparálható, s a vizsgált pixel $f_r(e_k, e_s)$ BRDF-je sem adható meg $L_{in}(e_k)$ -től függetlenül.
- a felszíntől az érzékelőig a jel terjedése az előzményektől szeparálható: példánkban: $\alpha_p(e_s)$ szeparálható, $L_p(e_s, e_0)$ » $L_{PA}(e_s, e_0)$ miatt $L_{PT} \approx L_p$ és L_p -ben $L_{in}(e_k)$ és $f_r(e_k, e_s)$ szerepe a korábbiaktól függetlenül tárgyalható.

A távérzékelési feladatot a modellezésnél ma sok esetben eleve megpróbáljuk legalább ebbe a kategóriába egyszerűsíteni. A probléma legtöbbször az elkövetett hiba becslésének elmaradásából vagy a hiba elfogadható becslésének az adott feltételek melletti lehetetlenségéből adódik.

c) Nem szeparálható, komplex modellek:

A valóságban már a legegyszerűbb távérzékelési feladatok pontosabb leírásai ebbe a kategóriába eső modelleket eredményeznek. Azonban amíg a hullámterjedés lineáris, addig $\alpha_p(e_s)$ ez esetben is elfogadható pontossággal szeparálható marad.

4. A modellek csoportosítása a feladat szerint

Nem kevésbé fontosak és meghatározóak a modellek feladat szerinti csoportosításai. Két szempontot gondolunk jellegzetesnek. Az egyik a feladat mérés-technikai jellemzőinek, míg a másik a távérzékelési feladat általános céljának a figyelembe vétele.

4.1. A modellek csoportosítása a mérés-technikai jellemzők szerint

A távérzékelés jelen helyzetében az intenzitás (radiancia, teljesítménysűrűség, ...) mérő műszerek (radiométer stb.) vannak többségben. Ezért az ezek kvalitatíve eltérő típusaihoz tartozó modelleszoportok legfontosabbjait részletezzük, s a többi modell-típust egy külön csoportban tárgyaljuk.

a) A jelintenzitás meghatározására alkalmas modellek.

A hullámterjedési számítási módszerekből fakadó érdemi eltérésekkel – bár vannak – nem foglalko-

zunk, mert nem elvi különbséget fednek. (Itt olyan eltérésekre gondolunk, mint az optikai sávban a diffúz jel eredő intenzitása és a m-es sávban a monokromatikus jel amplitúdója meghatározásakor fellépő számítási eljárási különbségek.) – A legfontosabb különálló csoportok:

- Keskeny látószögű illetve erősen irányított vevő-apertúrájú műszerrel vett jel modellezése. Ide tartoznak például a scannerek (MSS, TM, ...) jelei. A modellben általában egyetlen pixel-intenzitás kialakulását elég vizsgálni, s a felszínről az érzékelőig a jel egyetlen ($\epsilon_s = \text{állandó}$) irányban haladó jelként kezelhető.
- Széles látószögű illetve gyengén irányított (esetleg körsugárzó) apertúrák által vett jel modellezése.

Ide tartoznak például a TV és fényképező kamerák (RBV, MKF-6, ...) jelei.

A modellben az egész kép egyszerre alakul ki, ezért egy nagyon kiterjedt felszínről a látószög által meghatározott lényegesen eltérő irányokból beérkező jelegyüttes eredőjét kell leírni a számottevő keresztbeszórással stb. együtt; azaz $\epsilon_s \neq \text{állandó}$.

- Szintetizáló apertúrák, ahová például a SAR stb. is tartozik.

A modellben a különböző helyekre, kicsit eltérő időpontban egy adott helyről beérkező jelek eredőjét kell meghatározni; természetesen ϵ_s sem állandó.

Várható, hogy e modellcsoport még bővül és hamarosan megjelennek a hologram jellegű modellek (és regisztráló műszerek) is.

- b) Egyéb mérési eljárásokhoz illeszkedő modellek.

A lehetőségek száma igen nagy, csak néhány jellegzetes fontosabbat emelünk ki.

- Frekvencia – illetve fázis-változást, Dopplercsúszást leíró modellek. Például vízhullám fázisbesség mérése.
- Futási idő modellek, leggyakrabban radar illetve altimeter adatok értelmezéséhez.
- A jel polarizáció-változása illetve depolarizálódása meghatározására alkalmas modellek. Víz és növényzet MW-vizsgálatában már fontosnak tűnnek.
- Kombinált mérések eredményei interpretálására alkalmas modellek. Néhány fontosabb: intenzitás és polarizáció mérési modell, intenzitás és frekvenciaváltozás mérési modell stb.

Igen fontos, hogy a modellben a vizsgálandó mennyiség definícióját, értelmezését csak a mérési eljárás-hoz egzaktul illeszkedve lehet és szabad megadni. A modellek ilyen szempont szerinti összehasonlítása lehetőségét nyújt a különböző műszerek mérési adatai kö-

zötti kapcsolat kvantitatív megadására és az együttes értékelésre. Ennek egzakt vizsgálatából pedig még két azonos típusú műhold-műszer adatai együttes értékelésénél sem tekinthetünk el.

4.2. Modellcsoportosítás a távérzékelési feladat általános célja szerint

A távérzékelési modellezésnek két általános célja fogalmazható meg:

- A) A vizsgálni kívánt felszín, átjárt közeg stb. típus viselkedésének a megismerése a modell tanulmányozásán keresztül, azaz ANALÍZIS.
- B) A ténylegesen távérzékelte adatvektorból a modell segítségével valamely figyelemmel kísért jelenség (talaj, terméshozam stb.) már távérzékelésen kívül továbbfelhasználható kvantitatív (néha kvalitatív) jellemzőjének (jellemzőinek) a származtatása; azaz INVERZIÓ.

Megjegyzendő, hogy adott esetben egy modell mind az A), mind a B) célra alkalmas lehet, általában azonban előnyösebb és gazdaságosabb az A) vagy a B) célhoz illeszkedő modelleket használni. A következőkben kicsit részletesebben szemügyre vesszük a két modellcsoportot.

A)-csoportba tartozó modellek:

Ebben a csoportban cél, hogy a modell a valóság minél pontosabb leírását adja és nem baj, ha közben nagyon bonyolult, összetett.

Jó, ha a modellben minél több jellemző paraméter van, amelyek külön-külön manipulálhatók, hatásuk külön tanulmányozható.

Miután a cél az analízis, nem baj, ha a modell nehezen illetve kerülő úton invertálható, vagy nem invertálható.

E csoportban sok és sokféle – az esetek nem kis részében szimulált bemenő adatból távérzékelte, hasznosításra reménybeli vagy segédadatot generálunk. Ehhez kapcsolódva mód nyílik a konkrét célhoz illeszkedő az optimális mintavételi és mérési eljárási előírások meghatározására és szimulált kipróbálására. (Például ϵ_{sopt} a MW-sávban talajnedvesség mérésére, hogy az adatot a növénytakaró ne illetve minimális mértékben zavarja.)

Hasonló módon itt deríthetők fel és vizsgálhatók olyan – majd a B)-csoportban hasznosítandó – jellemzők, amelyek a távérzékelési adatokból egyszerűen, gyorsan és egyértelműen generálhatók és ugyanakkor specifikusan illeszkednek egy-egy távérzékelési alkalmazási területhez (pl. talajvizsgálat, növényzet vizsgálat, növényi stressz detekció, ...). Mód nyílik a még tisztázatlan távérzékelési fogalmak elemzésére és egyértelmű definiálására.

Végül meg kell említeni, hogy az A)-csoportba tartoznak azok a sokszor használt analízis modellek is, amelyeket csak egy-egy effektus felderítésére használunk. A legfontosabb speciális effektusok: a felszínhul-

lámosság hatása, a növényi sorszerkezet hatása, a felzindulás hatása, a közvetlen (pixelen belüli illetve kívüli) keresztbe-sugárzás hatása, a felszín szemcsézett-ség hatása, lamberti és anizotróp BRDF-fel leírható elemi felület hatása, ...

B)-csoportba tartozó modellek:

Ekkor a modell csak a cél eléréséhez feltétlenül szükséges mértékben lehet pontos. A nagyobb pontosság elérése ugyanis esetleg járulékos veszteséggel jár. A modell megválasztásánál lényeges szempont a kifejlesztési és futtatási költség, a gyors és üzemi körülmények közötti egyértelmű megoldhatóság, a további felhasználásra kerülő adatok szükséges pontosságú, biztonságos előállítása, a modell bemenő adatainak a hozzáférhetősége időben, megengedett költségkihatással és biztonságosan.

A modell legyen minél egyszerűbb és jól invertálható szerkezetű.

A modellben minél kevesebb függetlenül változó paraméter legyen, mivel ez növeli a paraméter-meghatározás stabilitását.

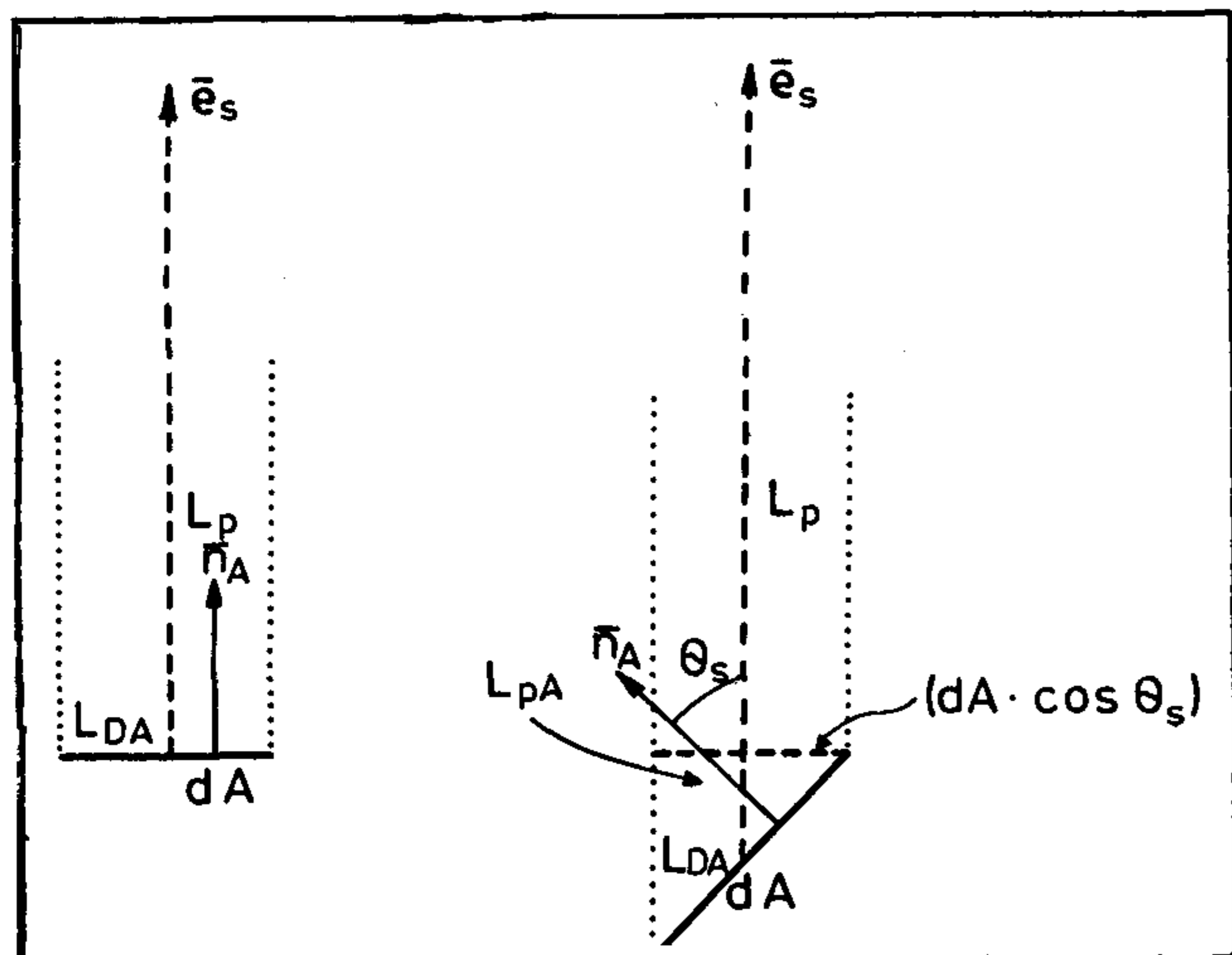
Minél kevesebb bemenő adattal működjön a modell. Célszerű, ha a távérzékelte adatvektor mellett legfeljebb néhány segédadatot igényel, vagy segédadatot nem igényel. Ez utóbbi esetben a felszíni hitelesítő adatok valamilyen formában impliciten szerepelnek a modellben, például a felszínre általában vagy klasszifikálással kijelölhetően érvényes függvényekként.

A szükséges segédadatok nagyobb pontossági igény esetén megfelelő mérési módszerrel a távérzékelési adatvektorba integrálhatók. Az ún. légköri-terjedéskorrekció esetét példaként használva néhány lehetőség:

- A légköri terjedési jellemzők előállítása az alapadat-vektorból (pl. MSS-ből).

- A terjedési jellemzők előállítása a távérzékelési adatvektor bővítésével (pl. MSS vagy TM + AVHRR használata).

- A terjedési jellemzők pixelenkénti egyidejű sugárút letapogatással történő szimultán mérésével komplex távérzékelési adatvektor előállítása, stb.



4. ábra. A heurisztikus spektrális indexek adatbázisa

Végül meg kell említeni, hogy e modellcsoport kimenő adatai legtöbbször más, már nem távérzékelési, hanem gazdasági stb. modellek bemenő adatai. A távérzékelési modell csatlakozási kompatibilitását is biztosítani kell.

5. A modellek módszertani csoportosítása

Ez a csoportosítás eléggé ismertnek tekinthető, ezért rövidebben taglaljuk.

5.1. Heurisztikus modellezés – a spektrális indexek:

E modellek valójában heurisztikus elképzelések, amelyek a 4. ábrán látható (mért) reflektancia illetve radiancia idő és frekvencia függésére vonatkoznak. A heurisztikus elképzelés (azaz modell) alapján axiomatikusan definiáljuk az ún. spektrális indexeket (GN, BR, RVI, ...) [1]. Az indexek és a meghatározni kívánt jellemző (zöld tömeg, hozam, ...) kapcsolatát pedig a kezdeti heurisztika következtében empirikusan (regresszióval) próbáljuk felderíteni. Alapvetően a 4.2.B modellcsoportba sorolhatók. Előnyük az egyszerű generálhatóságuk. Hátrányuk részben ugyanez, részben az eleve nem egzakt definíció – pl. tasseled cap [1]. Ezért előnyeik további kihasználása érdekében a nem kellően egzakt definíciókat spektrálisan egzakt, a pillanatnyi empiriától nem vagy alig függő definíciókkal kell és lehet felváltani pl. a tasseled cap esetében, amikor is a módosított BR a spektrális reflektancia értékek átlaga, a módosított GN a zöld-vörös és a közeli-IR sávok közötti átlagos, reflektanciában mért távolság stb. E definíciók már nehézség nélkül alkalmazhatók bármely műholdas műszer esetén és a különféle eredmények összevethetőek.

Hullámtani-terjedési – modellek:

Alapja – mint (1)~(4)-nél is láttuk – a teljes jelterjedés elemzés és ma még legtöbbször kvázi-egydimenziós illetve kétdimenziós (kvázi-háromdimenziós). Mivel a terjedési probléma különféle megközelítésekben tárgyalható, ehhez igazodó modell-típusok alakultak ki [2-3].

a) Determinisztikus modellek:

E modellek a beeső és a mért jel kapcsolatát determinisztikus, fenomenológiai leírás segítségével adják meg.

a.1.) Analitikus modellek:

Az említett kapcsolatot analitikus függvény vagy operátor segítségével kezelik. (Az "egyszerű" analitikus leírás mellett kiemelendő az elektrodinamikában általában használt self-consistent-field módszer itteni eredményes alkalmazása is.) Előnye a kapcsolatok analitikus átlátása, a sok esetben egyszerű gépi realizálás stb. Lásd pl. a Suits-modellt [2] vagy a barázda modelleket [4]. Hátránya, hogy bonyolultabb esetben

áttekinthetlenné és nehezen megoldhatóvá válik, esetleg fel sem írható. Mind a 4.2.A., mind a 4.2.B. csoportba tartozhatnak. Általános alakjuk:

$$R_i = Q_i(d_i) + r_{ni} \quad (5)$$

ahol R_i a távérzékelte adatvektor, Q_i egy általános, analitikus operátor, d_i a paraméter vektor, r_{ni} a zaj vektor, i megkülönböztető (időpont jelölő stb.) index.

a.2.) Regressziós modellek:

Az említett kapcsolatot továbbra is determinisztikusnak tételezzük fel. Azonban mibenlétéről csak általános elképzelést, hipotézist alakítunk ki matematikailag regresszióval megoldható egyenlet alakjában, azaz például

$$R_i = \sum_{j=1}^N A_{ij} d_i^j + r_{ni} \quad (6)$$

alakban, ahol A_{ij} a regresszióval meghatározandó konstansokat tartalmazza. Előnye részben egyszerűbb szerkezete, részben a regresszió következtében a fel nem ismert folyamatok figyelembe vehetősége, a pillanatnyi helyzethez könnyebb illeszthetősége stb. Hátránya, hogy analízisre nehezen használható, a (6) kapcsolat jellege bizonytalan, nehezen általánosítható és a regresszió valós adatbázisra többféle kapcsolattal is azonos minőségű eredményt adhat stb. Számítástechnikai kényelmessége következtében általában 4.2.B. csoportú modellek tartoznak ide.

b) Statisztikus modellek:

Ez esetben a bemenő és a kimenő változók között valószínűségi eloszlásfüggvények segítségével teremtünk kapcsolatot. Általában

$$R_i = P_i(d_i, r_{ni}) \quad (7)$$

ahol P_i valószínűségi operátor. Természetesen olyan modelleket is használunk, ahol csak a modell egy ré-

sze (pl. a növénytakaró vagy a barázdált felszín) leírása statisztikus, míg más része (pl. a légköri csillapodás és szórás) determinisztikus. Előnyük a vizsgált felszínnek jellemzőinek (talajszemcsék mérete, alakja, tájolt-sága stb.) sztohasztikus jellege miatt a valóságot jobban közelítő modellszerkezetben szembeszökően nyilvánul meg. Hátrányuk, hogy a szükséges számítástechnikai apparátus (pl. Monte Carlo módszer) praktikus bonyolult, gépidő-igényes. Mind a 4.2.A., mind a 4.2.B. csoportba tartozó modellek léteznek.

6. Kitekintés

A modellezés gyors fejlődése lehetővé tette, hogy több szempontból is csoportokba soroljuk a meglévő és kifejlesztendő modelleket. Remélhető, hogy a mindenkori modellezési munkát segíteni fogja az egyes csoportok jellemzése és a legfontosabb követelmények, szempontok összefoglalására tett kísérlet.

Köszönet: Köszönetemet fejezem ki Ferenczné Árkos Ilona és Tarcsai György kutatótársaimnak a munkámhoz nyújtott hathatós segítségért.

Ez az osztályozás az MTA A-MM-158/84. sz. ATA pályázat keretében végzett kutatás egyik eredménye.

A tájékozódást segítő néhány magyar nyelvű irodalom

- [1] Lichtenberger J., Ferencz Cs., Ferenczné Árkos I., Hamar D., Tarcsai Gy.: A távérzékelte adatok és a növényzet mennyiségi mutatóinak kapcsolata – a vegetációs indexek; Geodézia és Kartográfia, 39, 396-404, 1987.
- [2] Ferenczné Árkos I., Ferencz Cs., Hamar D., Lichtenberger J., Tarcsai Gy.: Növénytakaró modellek a távérzékelés mezőgazdasági hasznosításában; Geodézia és Kartográfia, 39, 248-254, 1987.
- [3] Ferenczné Árkos I., Ferencz Cs., Hamar D., Lichtenberger J., Tarcsai Gy.: Távérzékelési modellekkel szerzett tapasztalatok; Geodézia és Kartográfia, 39, 339-345, 1987.
- [4] Ferencz Cs., Ferenczné Árkos I., Hamar D., Lichtenberger J., Tarcsai Gy.: A közvetlen átsugárzás figyelembevétele felszínmodellekben: Barázdált felszín egyszerű modellje; Híradástechnika, XXXVIII., 49-60, 1987.

HÍRADÁSTECHNIKA

a Híradástechnikai Tudományos Egyesület folyóirata

TARTALOMJEGYZÉK

1989

XL. évfolyam

| | szám | oldal | | |
|--|------|-------|---|---------|
| ABRUSÁN GYÖRGY – BATTISTIG GYÖRGY – CSÁSZÁR SÁNDOR – MARCZY ALADÁR – PERGER LÁSZLÓ – RÓNA PÉTER – TÓTH TAMÁS: Időosztású előfizetői rádióberendezés | 2 | 34 | GÁL GYÖRGY: Az Orion ADP-2100 display terminál felépítése és szolgáltatásai..... | 10 313 |
| DR. AMBRÓZY ANDRÁS: 1/f spektrumú zaj varianciája | 11 | 322 | DR. GORDOS GÉZA – DR. LAJTHA GYÖRGY: Intelligens hálózatok illeszkedése a távközlés fejlesztési irányaihoz | 11 328 |
| ARATÓ ISTVÁN: Szervezés, számítástechnika a Telefongyárban..... | 1 | 2 | GOSZTONY GÉZA: A kiszolgálás minőségének szabványosítása..... | 6 161 |
| BALÁZS PÉTER – BÖRÖCZKY LILLA – FAZEKAS KÁLMÁN: Digitális videojel kódoló számítógépes szimulációi..... | 7 | 198 | DR. GOTTWALD PÉTER: Mikrohullámú félvezető eszközök optikai vezérlésének alapjai. II. | 1 6 |
| BÁRÁNYNÉ SÜLLE GABRIELLA – BERCELI TIBOR – FRIGYES ISTVÁN – GORDOS GÉZA – KROÓ NORBERT – LAJTHA GYÖRGY – LENDVAY ÖDÖN: A fotonika fejlődési irányai..... | 9 | 257 | GÖBLÖS JÁNOS: Elektronizáció a gépjárműiparban | 9 277 |
| DR. BÁRSONY PÉTER – GYURI PÁL – DR. SZTANISZLÁV DÁNIELNÉ: Korszerű mikrohullámú ferrit eszközök.... | 2 | 56 | GÖBLÖS JÁNOS: A vállalatvezetés gondjai a minőség és megbízhatóság biztosításában | 10 317 |
| BEGAIN KHALID: Semi-Markov folyamatok megbízhatósági alkalmazással | 8 | 233 | GYÓRFI LÁSZLÓ – VAJDA ISTVÁN: Nem bináris kódok konstrukciója | 8 225 |
| BERCZI SÁNDOR – SZALAY ISTVÁN: Kábeltelevíziós és műholdvevő főállomások új generációja a BHG-ban..... | 7 | 217 | DR. HAHN EMIL – DR. HARSÁNYI GÁBOR: Érzékelők kutatása a BME Elektronikai Technológiai Tanszékén | 11 336 |
| DR. CSOPAKI GYULA – DR. HALÁSZ EDIT – DR. TRÓN TIBOR: Digitális távközlő vonalak számítógépes leírása és szimulációja | 12 | 374 | HALÁSZ MIKLÓS: Kihívás a távközlési infrastruktúra fejlesztésére | 7 193 |
| CZEINER ANTAL: A használhatósági és megbízhatósági terv II. rész. A használhatóság és megbízhatóság célszerű mértékei..... | 4-5 | 151 | DR. HÁMORI ANDRÁS – TÖRÖK PÉTER: Korszerű mikrolitográfiák..... | 12 367 |
| DR. DARABOS ZOLTÁN: A szolgáltatások szerepe a BHG kiskapacitású EPM alközpontjainak programfejlesztésében..... | 9 | 271 | HOSSZU GÁBOR: Módszerek a nagybonyolultságú IC-k kihozatalának becslésére a gyártási eljárás szimulációjával..... | 8 241 |
| DR. ELEKES JÓZSEF: Transzmultiplexerek tervezési problémái | 2 | 40 | KORMÁNY TERÉZ – ERLAKY GYÖRGY: Beszámoló a VLSI áramkörök anyagainak és technológiájának minősítése Nemzetközi Konferenciáról..... | 8 250 |
| DR. FÖLDVÁRI RUDOLF: Általánosított mintavételi tétel és alkalmazása kváziperiodikus jelek leírására | 9 | 263 | LADVÁNSZKY JÁNOS: Nemlineáris mikrohullámú áramkörök teljesítmény illesztése | 3 89 |
| DR. FRIGYES ISTVÁN: Kétfrekvenciás terjedési modell frekvenciadiverziti szélessávú digitális mikrohullámú átvitelben..... | 3 | 72 | LEVENDOVSKY JÁNOS: Digitális összeköttetések rádiócsatornájának adaptív kiegyenlítése | 3 82 |
| DR. FÜLÖP TAMÁS: Kapcsolt kapacitású áramkörök offset érzéketlen realizálása ... | 6 | 173 | DR. MIZSEI JÁNOS – DR. ZÓLOMI IMRE: Szigetelő rétegek félvezetőkön | 1 19 |
| | | | NITSCH, R.: Nagy bonyolultságú elektronikai távközlő rendszerek meghibásodási intenzitásának számítógépes előrejelzése | 4-5 144 |
| | | | PAP JÁNOS: A vasuti távközlés történeti áttekintése | 7 209 |
| | | | DR. PAP LÁSZLÓ – DR. VAJDA ISTVÁN: Zavarvédelem a szórt spektrumú átviteli rendszerekben | 12 353 |

| | | | | | |
|---|-----|-----|--|--------------------|-----|
| DR. PÁVÓ IMRE: Nullátor-norátor páros kvázireguláris hálózatok..... | 10 | 289 | A távközlés tudományos helyzetképe '88 | 4-5 | 97 |
| PENTTI JAASKELAINEN: Felhasználóorientált áramkörökre vonatkozó minőség és megbízhatóság biztosítási tervek és tapasztalatok..... | 4-5 | 149 | - Előszó | | |
| SALAH NOUREDDIN - DR. KORMÁNY TERÉZ: Precipitációs folyamatok és termikus donorképződés a szilícium alapu integrált áramkörgyártási technológiában | 1 | 29 | - Távközlési szolgáltatások fejlődési irányai | | |
| SEBŐK ATTILA: Mikrohullámu csillaghálózat tervezése PC-vel | 10 | 307 | - Alaptudományok | | |
| DR. SZABÓ PÁL - SZABÓ ZOLTÁN: TV IV. - V.sávi adóantennarendszer..... | 10 | 299 | - Műsor és adatszórás | | |
| DR. SZÉPVÖLGYI GÁBOR: URH-FM adóberendezések tartalékolása n+1-es rendszerben..... | 6 | 183 | - Átviteltechnika | | |
| DR. SZOKOLAY MIHÁLY: Szelektív személyhívás a magyar URH-FM műsorszóró rádióhálózaton | 11 | 339 | - Kapcsolástechnika | | |
| DR. TÓFALVI GYULA: Úgy gondolom..... | 1 | 1 | - Mobil távközlés | | |
| DR. TÓFALVI GYULA: Bevezető..... | 2 | 33 | - Hálózatok felépítése és tervezése | | |
| TÓTH LÁSZLÓ: Gondolatok a MÁV távközlő hálózatáról és munkájáról..... | 7 | 208 | - Telematika és adatátvitel | | |
| VENKITA N, SESHADRI - C.S. SAVOLAINE: Az AT&T nemzetközi kapcsolat beszéd szolgálatainak teljesítmény kiértékelése..... | 4-5 | 140 | - Integrált szolgáltatású digitális hálózatok | | |
| DR. ZÓLÓMY IMRE - NGOYEN SY NAM - DR. PÁSZTOR GYULA - BERKECZ JÁNOS: Poliszilícium emitter alkalmazása nagyérzékenységű fototranzisztor céljára | 11 | 347 | - Összegzés, következtetések. | | |
| EGYÉB | | | Könyvismertetés: György Fodor: Nodal Analysis of Elektrical Networks, Akadémiai Kiadó, Bpest 1988. (Dr. Solymosi János) | 4-5 | 148 |
| 1988. évi tartalomjegyzék..... | 1 | 16 | Felhívás | 4-5 | 150 |
| ISTN 88. 6. ITC szeminárium (Kálmán László)..... | 1 | 22 | Sokszolgáltatású interaktív KTV kísérleti hálózat a PKI-ban (Stefler Sándor) | 4-5 | 158 |
| Beszámoló az ISCAS '88 konferenciáról (Dr. Baranyi András)..... | 1 | 23 | Digitális beszédfeldolgozás-elvek és alkalmazások | 4-5 | 158 |
| A HTE 1988. évi Alkatrész szemináriumának határozatai | 2 | 45 | Beszámoló a "7. Megbízhatóság az elektronikában Szimpózium"ról (Dr. Balogh Albert - Dr. Lajtha György) | 6 | 186 |
| Beszámoló a Nyugat-Berlinben megrendezett "Mikroelektronik für die Informationstechnik" c. tudományos konferenciáról (Gergely István)..... | 2 | 63 | Beszámoló a HTE elnökségi üléséről | 6 | 189 |
| A távközlés helyzete a 90-es években Magyarországon (Dr. Budinszky József)..... | 3 | 65 | Nívódijjaink | 6 | 189 |
| Beszámoló az 1988. évi VLSI anyagok és technológiák konferenciájáról (ICMPC '88) (Erlaky György)..... | 3 | 71 | Egyéb díjasaink | 6 | 190 |
| Beszámoló a Mágnesesség Nemzetközi Konferenciájáról (Dr. Sztaniszláv Dánielné)..... | 3 | 81 | Hiradás a Mikroelektronikai Társaság Konferenciájáról (Dr. Timár József - Pruzsina Ferenc) | 7 | 197 |
| | | | Vélemények az egyesületi munka megújításának igényéről és lehetőségeiről (Dr. Kormány Teréz) | 7 | 214 |
| | | | Szemle | 232, 239, 249, 253 | 8 |
| | | | Az első szilíciumgalliumarzenid monolit integrált áramkör (Dr. Mojzes Imre) | 8 | 240 |
| | | | Róna Péter (Nekrológ) | 8 | 276 |
| | | | Szemle | 10 | |
| | | | 40 éves a BME Villamosmérnöki Kara (Dr. Zombory László) | 11 | 321 |
| | | | Beszámoló a 10th International Conference on Noise in Physical System rendezvényéről (Dr. Ambrózy András) | 11 | 327 |
| | | | International Conference on Electrical Contacts and Elektromechanical Components (Kovács Gizella) | 11 | 338 |
| | | | Beszámoló a Magyar - Olasz távközlési Szimpóziumról (Korompay Géza - Dr. Prónay Gábor) | 11 | 334 |
| | | | II. Európai Rádiórelé rendszerek Konferencia (Dr. Szabó Zoltán) | 12 | 366 |
| | | | Popov Rádió Napok '89 (Dr. Turi Kovácsné - Balog G. - Krasovics M.) | 12 | 372 |

SZEMLE

Összeállította: Gál Ferenc

Az 1986-90 közötti időszakra szóló tervtörvény szerint a népgazdaság korszerűsítését és hatékonyságának javítását a központi gazdaságfejlesztési programokkal is alá kell támasztani. Ilyen programok készültek többek közt

- az elektronika társadalmi-gazdasági alkalmazására és terjesztésére,
- az elektronikai alkatrészek és részegységek gyártásának fejlesztésére.

A programok megvalósítását szolgáló fejlesztésekhez a vállalati saját erő kiegészítéseként kedvezményes lejáratú beruházási hitelt, állami támogatást, állami alapjuttatást, illetve költségvetési juttatást kaphatnak a pályázók. De az elektronikai alkatrészgyártás pályázati feltételeinek megfelelő beruházások felhalmozási adó- és vámkedvezményt is élveztek. Három egyéb, ugynevezett takarékosági programra eredetileg öt évre összesen 11 milliárd forint támogatást irányoztak elő (jórészt közvetlen állami támogatás és nem kamatkedvezmény formájában), amiből végül is mintegy 4,5 milliárd lesz, beleszámítva az 1988-ra áthúzódó támogatásokat is. A központi támogatás megvonása tehát jelentősen kíméli az állami kasszát, miközben megszüntetése a normatív vállalati szabályozást erősíti.

Változatlanul tovább élnek az elektronikai programok, sőt ezzel kapcsolatban a kormány szilárd elhatározását tükrözi a szándék, hogy még nehéz költségvetési helyzetben is mindenképpen biztosítja e két program tervezett támogatási összegeit.

A VII. ötéves terv időszakában az államkassza a tervszámok szerint 17-20 milliárd forintot fordít az elektronika társadalmi-gazdasági elterjesztésére.

Az Országos Tervhivatal azonban ma már szívesebben beszél 10 milliárdos támogatási tervről, holott illetékes fórum hivatalosan nem csökkentette a támogatás összegét. És valójában az első háromévi felhasználás teszi ki ezt a támogatási összeget. Bármelyik számot nézzük is, ez a laegnagyobb támogatási háttérű program, de az összeg nagyságának értékeléséhez tudni kell, hogy az elektronikai kutatások és oktatás-fejlesztése, valamint az államigazgatás számítástechnikai korszerűsítése mellett ide tartozik a távközlés is. Más megközelítésben pedig még azzal lehet minősíteni a támogatásra szánt összegek nagyságát, és ezáltal várható orientációs hatásukat, hogy ezek túlnyomó részt nem szabadon megpályázható pénz, illetve kedvezmény, mivel ide számították azokat a költségvetési szervek egyébként is megkapnának az ilyen jellegű, a programtól függetlenül is folyó fejlesztéseikhez. Ami valós kedvezmény a vállalatok részére, az ez évben négy formában vehető igénybe: gyorsított leírás alkalmazása, vámkedvezmény a robotok és az elektronikai termékek behozatalához, a szocialista importból szár-

mazó számítógépek ártámogatása és négy gépipari szakágazatban lehetőség van a meglévő berendezések pótlólagos automatizálásának adómentes forrásából (költségéből) történő finanszírozására. Ezek a támogatási módok egy-egy fejlesztési területen hathatós ösztönzést jelenthetnek, de széles körben nem alkalmasak a kutatásfejlesztés és a termelő beruházások között szakadék áthidalására.

Az elektronikai program feladataira felhasznált állami támogatások (millió forint)

| Fejlesztési feladatok | 1986 | 1987 | 1988. évi előirányzat |
|--|------|------|-----------------------|
| Távközlés | 1367 | 1700 | 1650 |
| Államigazgatási számítástechnika | 451 | 406 | 376 |
| Oktatás | 80 | 108 | 188 |
| Központi elektronizálási K+F (OKKFT G 1) | 273 | 575 | 750 |
| Vállalati beruházások | 300 | 700 | 700 |
| Összesen | 2471 | 349 | 3664 |

(Figyelő, 1988. március 24.)

A japán Hitachi gyár 1990 elejére 0,3 mikrométer mintázatfinomságú 64 Mbit tárcapacitású DRAM integrált áramkört készül forgalomba hozni.

A cég jelenleg hagyományos fotolitográfiai eljárással 1 Mbit tárcapacitású Ram-okat gyárt, 1,5 um-es mintázatfinomsággal, és ezt a technológiát továbbfejlesztve, 1,6 Mbit-es eszközöket tervez gyártani. A 64 Mbit-es eszközök készítésére azonban már röntgensugaras vagy más speciális fényforrást kell használni. A 64 Mbit kapacitású eszközt többretegű 3 dimenziós strukturaként tervezik megvalósítani.

(OMIKK Mikroelektronikai Gyorstájékoztató - Integrated Circuits Internacional, 1988. febr.)

*

A Forst and Sullivan amerikai piackutató intézet "Az USA képfeldolgozó rendszerek piaca" című előrejelzése szerint a teljes 1986. évi 470,4 MSD piac 1987-re 532,2 MUSD, 1992-re pedig 1 Mrd USD-ra növekszik (1986-os dollárban). Az adatok csak kereskedelmi piacra érvényesek, a katonai és fogyasztói piacot kizárva - és csak a képfeldolgozáshoz szükséges szoftver - és hardvervásárlásokat vették figyelembe. Az alkalmazásspecifikus termékeket, valamint az USA piacán kívüli eladásokat ugyancsak kirekesztették.

(Electro Optics, 1987. okt.- OMIKK Mikroelektronikai Gyorstájékoztató, 1988/4.)

Az információs társadalom színe és visszája

LŐRINCZ ENDRE

BHG Fejlesztési Intézet

ÖSSZEFOGLALÁS

Az információs társadalom ellentmondásainak feloldása, a fejlett és fejlődő országok közötti szakadék áthidalása csak az emberiség globális problémáinak megoldásával valósítható meg. A tömegkommunikáció és az elitkultúra ellentmondásai csak a legszélesebb körű nemzetközi integrációban látszanak feloldhatóknak.

Az információs társadalom színe és visszája

Egy technokrata világszemlélet szerint az emberiség a számítógép jóvoltából az információs társadalom felé tart, amelyben az információ továbbításához szükséges technikai eszközök bőségével kell számolnunk. Ezek az információk lehetnek: hang, írott szöveg, állókép, mozgókép – tehát technikai kategóriák. Arról nem gondolkodnak ezek a technokraták, hogy milyen tartalmúak lehetnek ezek az információk. Például:

- Nincs több kóolaj
- Nincs több vasérc
- Nincs több ivóvíz
- Nincs több kenyér

Ezeket az információkat a tengeralatti üvegszálak kábeleken és a távközlési műholdakon másodpercek alatt lehet világgá röptíteni. Mindezt az angol ipari forradalom után két-három évszázaddal.

Lehet fontolgatni az információs társadalomhoz vezető evolúciós vagy revolúciós út realitását, azonban Charles Darwin jóvoltából ez a kérdés már eldőlt. A követendő stratégia: permanens revolúció, amely összességében illeszkedik az emberiség törzsféjlesztéséhez.

Az információ demokratizálásának helyes sorrendje: előbb az alapvető emberi jogok (pl. az étkezéshez való jog) kielégítése, majd az információhoz való jog következik. Nem valószínű ugyanis, hogy Etiópiában az iszapos ivóvízért való sorbanállás közben bárki is a műholdról vett tv-műsorban gyönyörködik.

Jelenleg 5 milliárd ember él a Földön, azonban ez nem csupán 5 milliárd potenciális tv-nézőt vagy telefonelőfizetőt jelent, hanem 5 milliárd éhes és szomjas szájat is. Jelenleg 600 millió telefonelőfizető van a Földön, legalább 600 millió ember nem tud előfizetni a napi kenyérré és ivóvízre.

A földfelszín túlnyomó többségét víz borítja, ugyanakkor sivatagos a szárazföld jelentős része. Ezt a meteorológiai műholdak fényképfelvételei nélkül is tudja az emberiség.



LŐRINCZ ENDRE

1968-ban végzett a BME Villamosmérnöki Karán, ugyanitt szakmérnöki oklevelet kapott 1975-ben. 1968-70. között

a BHG-ban, 1971-77. között az OKGT-nél, 1978-tól a BHG FI-ben dolgozik. Tevékenységi területe a távközlés rendszertechnikája. Fontosabb tervei: az OKGT (1975), a MÁV (1980) és az MVMT (1982) iparági távbeszélő hálózata. Részt vett a távközlő hálózat számítógépes üzemfelügyeleti rendszertervének (LOTRIMOS) kidolgozásában, legfontosabb hálózatterve a Csehszlovák Posta számára készült (1986). Jelenleg a LOTRIMOS regionális és országos változatának IBM PC AT/XT-re írott programcsomagján dolgozik.

Számára a leghasznosabb információ ez lenne:

- Van bőven energiahordozó
- Van bőven nyersanyag
- Van bőven ivóvíz
- Van bőven kenyér

Ezeknek az információknak az előállításához nem csupán tv-kamera, mikrofon vagy billentyűzet szükséges, ehhez nem elegendő a különféle számítógépes világmodellek világgá röptítése. Mert az energiahordozók és nyersanyagok közeli kimerülésével, a flóra és fauna kipusztulásával, az életminőség romlásával lehet reménytelenséget árasztani.

Lehet, de nem érdemes.

Sivatag helyett Kánaán

A reménytelen siránkozás helyett érdemes tanulmányozni olyan környezetkímélő energiahordozó előállításának és felhasználásának lehetőségeit, mint a hidrogén. A hidrogén a víz egyik alkotóeleme, tehát vegyileg kötött formában igen nagy mennyiségben áll rendelkezésre. Elektromos energia segítségével a víz vegyi kötése felbontható hidrogénre és oxigénre. A hidrogén normál hőmérsékleten légzemű, tehát csővezetékben szállítható és tartályokban tárolható, az oxigén pedig vastagítja a légkört. A légkör vastagodása csökkenti a Föld időjárás szélőségeit. A hidrogén égésterméke víz (széndioxid nem keletkezik!), tehát fordított vegyi reakció játszódik le, mint a vízbontásnál. A nagy hőenergia felszabadulása kíséretében keletkező víz újból visszakerül a geohidrológia vizáramába.

Beérkezett: 1989. VII. 27.

A vízbontáshoz szükséges energiát a naperóművek szolgáltatják évmilliókig. Ezért ezeket a naperóműveket az egyenlítő közelében célszerű telepíteni tengeren vagy tengerparton. Az energiahordozó megváltozása kihat a motorizációra is. A hidrogén motorok jelenleg még alacsony hatásfokúak, és kis sebességűek. Itt kell komoly fejlesztést végezni.

A naperóművek segítségével kell megoldani az édesvíz nagymennyiségű előállítását is tengervízből. A felforralt tengervíz páráját le kell csapatni a tengeralatti tárolórendszerben, majd nagykapacitású vízvezeték-hálózaton el kell juttatni a szárazföldre. Olyan bőséges édesvízerőmű rendszerre van szükség, hogy az vegye körbe a szomszédos kontinenseket. Az íváson kívül öntözésre is használható az édesvíz, tehát búzatáblák és gyümölcsösök telepíthetők a sivatagokba (lásd Kuwait és Szaud-Arábia példáját).

Az édesvízi program első lépéseként artézi kutakat kell fúrni a szomszédos kontinenseken, amelyek azonban lehetnek termálkutak a geohidrológiai adottságoktól függően. Az édesvízerőművek a forralásokból visszamaradó ásványi sókat szétválasztják, majd elemeikre bontják. Ez a jövő nyersanyag-bányászatának egyik formája.

A jövő bányászatának másik útja a Föld felszínén rendelkezésre álló elemekből elektronfizikai úton hasznos földfémek előállítása napenergia segítségével évmilliókig.

Ha mindezeket megoldotta a jövő társadalma, akkor az informatikai rendszerek világgá röpjethetnek a hírt:

”Megálljunk, mert itt van már a Kánaán.”

Tömegkommunikáció és elitkultúra

Alig több, mint 100 évvel a telefon feltalálása után olyan integrált szolgáltatású digitális hálózat megvalósítása van napirenden, amely a hang továbbításán túl írott szöveg (telex), állókép (telefax), adat, teletext és mozgóképek (képtelefon) továbbítását egyesíti magában.

A gépkocsikba épített mobil rádiótelefon-hálózatok légköri frekvenciataromány növekedése miatt a hagyományos rádió és televízió műsorszórás is vezetékessé válik.

Az ilyen sokrétű kommunikáció széles frekvencia-tartományt igényel, amelyet hagyományos rézvezetékek nem tudnak biztosítani. Ezt a célt szolgálják az üvegszálak kábelek (optikai szálvezetők), amelyekben nem elektromos energia továbbítja az információt, hanem azonos hullámfázisú fénysugár (lézer). A nagy földrajzi távolságok áthidalására szolgáló távközlés alternatív formája a műholdas távközlés.

A műholdas hírközlésnek két formája létezik:

- a műsorszóró műholdak tv-műsorok terítésére szolgálnak,

- a távközlő műholdak sokcsatornás digitális távközlési információk (beszéd, szöveg, adat, állókép, mozgóképek) párbeszédű összekapcsolását biztosítják.

A műholdak pályájuk szerint lehetnek:

- elliptikus pályájúak, amelyek a keringési idejük tört részében tudják besugározni a kijelölt földrajzi területet, ezért sok kell belőlük,
- geostacionárius pályájúak, amelyek egy adott földrajzi terület fölött lebegnek, ezért kevés elegendő belőlük.

Tehát ezek azok a technikai eszközök, amelyeket a jövő társadalmának okosan kell felhasználnia. Ugyanis az információ tömegmértű, gyors továbbítása megnöveli a kultúra művelőinek felelősségét, mert olyan kultúrát, amely nem elégti ki az ember természetes szépség- és jószág-ideálját, kár lenne a Föld legtávolabbi zúgába eljuttatni. A kultúra kommercializálódása a legnagyobb bánata az igényes alkotóknak és nézőknek egyaránt. Az olyan tv-filmsorozatok, amelyek gyilkosságok, verekedések, üldözések sorozatából állnak, nem alkalmasak az igényes szórakozásra. Az erőszakhullám különösen felerősödött a képmagnók elterjedésével, mivel ellenőrizhetetlen forrásokból árad az igénytelen kultúra.

Fel kell figyelni az erőszakhullámnak az ifjúságra gyakorolt hatására: a kemény rock, a videoklippek az erőszakot dicsőítik. Céltalanság, kiábrándultság, narokotizálás, bűncselekmények járnak a nyomában. Ez a káros kultúra.

Ennek kell gátat vetniük a Föld legnevesebb és legnevesebb művészeinek nemzetiségre való tekintet nélkül. Egy jó és szép jövőképet kell megrajzolniuk de ne az erőszakot extrapolálják az Univerzumra.

Nem szabad elültetni a nézőben azt az érzést, hogy csakis erőszak lehet a jövő társadalmának az alapja.

A technikai eszközök továbbfejlesztésével létre lehet hozni egy kibernetikus világszínházat, amelyben a kupolás szerkezetű színházak műholdon keresztül kapják a műsorokat. A kibernetikus színházban együtt él a hagyományos filmvetítés, a robottechnika és a lézertechnikán alapuló holográfia. A nézőközönség dönthető és forgatható üléseken helyezkedik el, és az előtte lévő billentyűzet segítségével be tud avatkozni a cselekménybe. Az előadás nyelvét billentyűzéssel tudja megválasztani és fejhallgatón tudja hallgatni. Az illat-orgona időről-időre más-más virág illatával tölti meg a színházat.

Ennek a világszínháznak életkortól függetlenül bárki nézője és alkotója lehet. Ennek a kibernetikus színháznak meg kell újítania a színház- és filmművészetet, a zene- és drámairodalmat, a művészetet és a tudományt.

Ennek az elitkultúrának meg kell teremtenie a legmagasabbrendű embert, amely képes benépesíteni az Univerzumot.

Polikristályos szilícium szalagok vizsgálata

VANKÓ PÉTER

BME Elektronikus Eszközök Tanszéke

ÖSSZEFOGLALÁS

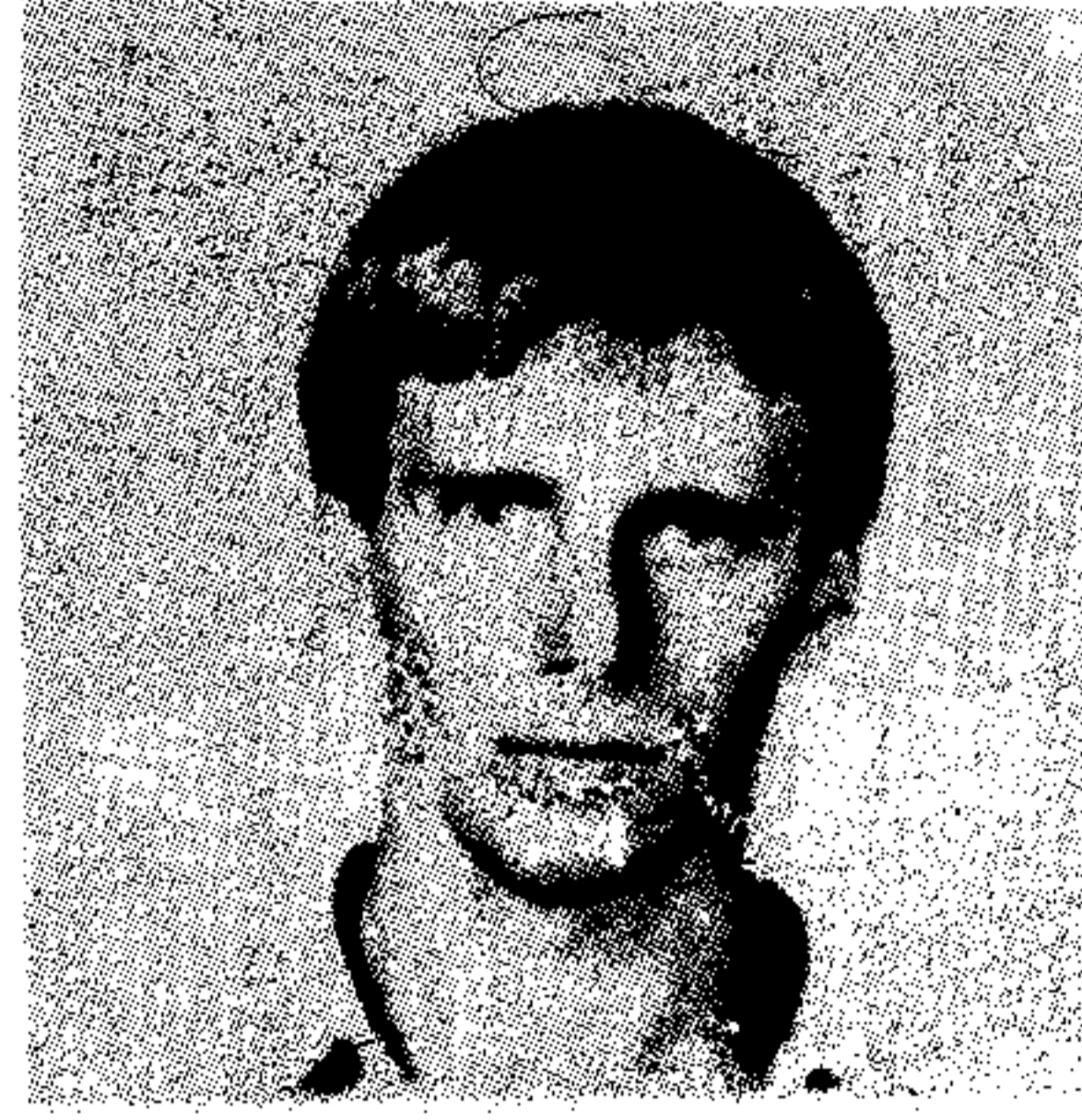
A napenergia gazdaságos felhasználásához a mikroelektronikában felhasznált egykristályoknál sokkal olcsóbb félvezetőkre van szükség. A szerző áttekinti a fotocella-alapanyagokkal szemben támasztott követelményeket és bemutat néhány gazdaságos poliszilícium-előállítási módszert. Kiemeli a szemcsatarók szerepét a fotocella hatásfokát befolyásoló tényezők közül és ismerteti TEM és SEM-EBIC módszerekkel S-WEB szilícium szalagokon végzett vizsgálatnak néhány eredményét.

Bevezetés

Világszerte jelentős kutató- és fejlesztőmunka folyik a napenergia közvetlen elektromos energiává alakításának gazdaságos megoldására. A napenergia felhasználására a - nem is olyan távoli - jövőben nem elsősorban az egyéb energiahordozók kimerülése miatt kényszerül rá az emberiség, hanem mert a hagyományos energiahordozók (beleértve az atomenergiát is) már ma is az elviselhetőség határáig terhelik a környezetet. Gondoljunk a savas esőkre, a gigantikus víztárolók kiszámíthatatlan hatásaira, az atomszemét, a rádióaktív hulladék elhelyezésének megoldatlanságára. Ez a végzetessé váló környezetkárosító folyamat fékezhető az energiatakarékos berendezések és eljárások kifejlesztésével (ebben nagy szerepe van a mikroelektronikának) és a környezetbarát szemléletmód elterjedésével. Szerencsére az energiatakarékosság üteme nem nő olyan mértékben, mint ahogyan azt korábban feltételezték, de a szennyezőanyag kibocsátás mai szintje sem tartható fenn sokáig, így mindenképpen szükség van "új" energiaforrások használatba vételére. A lehetőségek közül kiemelkedik a napenergia, hiszen forrása kimeríthetetlen és teljesen környezetsemleges.

A napenergia felhasználásának gyors elterjedését ma még elsősorban az gátolja, hogy az így előállított elektromos energia túlzottan drága a jelenlegi energiaárakhoz képest. Így ma még csak olyan helyeken gazdaságos nagybani felhasználása, ahová másképp egyáltalán nem, vagy csak nagyon költségesen vezethető energia (úrkutatás, magányos települések, kutatóállomások, sivatagi öntözőberendezések, stb.). Kaliforniában működik már 10 MW teljesítményű kísérleti erőmű is [1].

Emellett nehézséget jelent, hogy a nagy naperőművek telepítésére alkalmas éghajlaton (pl. Szahara) elsősorban fejlődő országok helyezkednek el, ahol nincsenek meg a feltételei az ilyen jellegű beruházásoknak. A politikai nehézségek mellett az energia



VANKÓ PÉTER

1984-ben végzett a Budapesti Műszaki Egyetem elektronikai technológia szakán. Azóta tudományos ösztöndíjasként, majd tudományos munkatársként a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik. 1987/88-ban DAAD ösztöndíjjal 10 hónapot a Hamburg-Harburgi Műszaki Egyetemen töltött, ahol szemcsatarók elektronmikroszkópos vizsgálatával foglalkozott. HTE tag.

tárolását és szállítását kell még megoldani - közbülső energiahordozóként elsősorban folyékony hidrogén jöhet számításba.

Napelem alapanyagok

A/ Az alapanyag kiválasztásának szempontjai

A naperőmű lelke a félvezető fotocella: a beérkező fotonok energiája itt alakul át elektromos energiává. Az átalakítás hatásfoka függ:

- A félvezető anyag megválasztásától. A napfény spektrumához ~1,4 eV tiltott sáv szélességű félvezető az ideális (elvi maximális hatásfok ~28-30%). Különböző tiltott sáv szélességű rétegekből megfelelően felépített cella hatásfoka ennél jóval magasabb lehet (kb. 50-60% maximálisan).

- A félvezető hibastruktúrájától. Drasztikusan rontja a hatásfokot, ha a kisebbségi töltéshordozók élettartama csökken.

- Az alkalmazott technológiától, így az adalékkoncentrációktól, a felület kialakításától (barázdák, $k/4$ réteg), a fémezés optimalizálásától.

A fényerősségtől. Erősebb (koncentrált) megvilágítással a hatásfok nő - ekkor viszont a melegedés miatt gondoskodni kell a fotocella hűtéséről.

A modulok hatásfoka a különböző veszteségek miatt a cellák hatásfokánál kb. 2 %-kal kisebb.

A megfelelő alapanyag kiválasztásánál ugyanakkor más tényezőket is figyelembe kell venni. A szilícium 1,1 eV tiltott sáv szélességgel és 24 % félempirikus maximális hatásfokkal nem ideális fotocella-alapanyag, mégis, tömeges felhasználás esetén, mellette szól, hogy elterjedt, a környezetre teljesen ártalmatlan és technológiája sokkal fejlettebb más félvezetőkénel. De még a viszonylag olcsó szilícium esetében is, egykristályos alapanyagot felhasználva, amivel az ideális

hatásfok megközelíthető (21-22 %), az alapanyag ára a teljes beruházási költségnek kb. 40 %-a [1], [2]

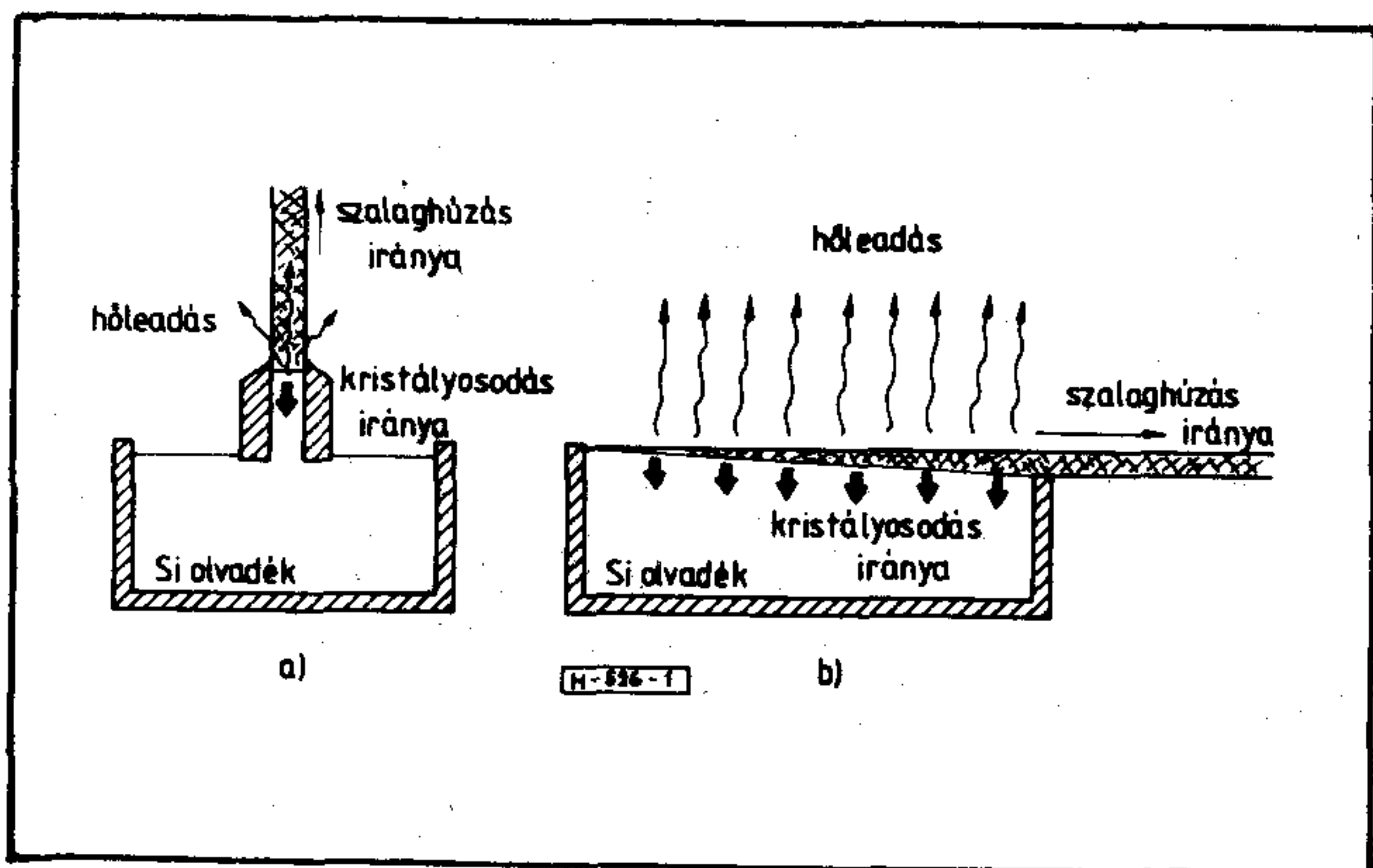
Az egykristályos szilícium szelet magas árát a félvezető tisztaságú szilícium előállításának és az egykristály húzásnak a hatalmas energiaigénye, valamint a szeletelés költsége és kb. 50 %-os anyagvesztése okozzák. A napelem kutatások jelentős része ezeknek a költségeknek a (részleges) kiküszöbölését tűzi ki célul. Az alapanyag ára így jóval kisebb lehet, de ugyanakkor a hatásfok drasztikusan csökken és így nem térül meg a technológia és a telepítés (modulok, DC/AC átalakítók, stb.) költsége. 10 %-nál kisebb modulhatásfokkal már semmiképp se lehet egy rendszer gazdaságos. Így tehát a kutatások célja olyan olcsó (polikristályos vagy amorf Si) alapanyag előállítása, melyből az egykristályos cella hatásfokát megközelítő hatásfokú cella készíthető.

B/ Polikristályos szilícium fotocella-alapanyagok

Az amorf szilícium fotocellák fejlesztése lelassult, mert stabilitásuk nehezen biztosítható: fotonok hatására degenerálódnak (Staebler-Wronski effektus) és ez, bár a folyamat hőkezeléssel visszafordítható, nehezíti alkalmazásukat.

Poliszilícium cellák előállítására egyrészt olcsó poliszilícium öntecseket használnak. Ehhez vegyi tisztaságú szilícium olvadékot öntenek grafit tégelybe, ahol azt nagyon lassan hűlni hagyják. Így a félvezető tisztaságú szilícium előállításának és az egykristály húzásának költségeit (nagy energiaigényét) lehet megtagarítani. A keletkező poliszilícium a lassú kristályosodás következtében nagy szemcseméretű, viszont a magas szennyezőtartalom miatt oxid és karbid precipitátumokat tartalmaz.

A fejlesztés másik jelentős irányzata poliszilícium szalagok előállítása, melyek közvetlenül, szeletelés nélkül felhasználhatók fotocellák előállítására. Ezeknél a módszereknél a sokkal gyorsabb kristályosodás miatt az előzőnél tisztább kiinduló anyagra (szilícium olvadékra) van szükség, viszont a gyorsaság és a szeletelés elmaradása nagy előny.



1. ábra. Függőleges (a) és vízszintes (b) poliszilícium szalagnövesztés

Az olvadékból függőlegesen húzott szalagoknál (EFG, Dendritic WEB, stb.) a kristályosodási front a húzási iránnyal (a szalag felületével) párhuzamosan halad (1.a ábra), így a hőtranszport - itt elsősorban hővezetés - és a kristályosodás kis felületen, aránylag lassan történik (<5 cm/perc). A keletkező szemcsék orientáltak és aránylag nagyok. A módszer hátránya, hogy a húzási sebesség kicsi, a hőleadás és a kristályosodás nagyon nehezen kontrolálható.

Vízszintes húzásnál (LASS, RAFT, S-WEB, stb.) a kristályosodás iránya a húzási iránnyal közel 90°-os szöget zár be (1.b ábra), így a kristályosodás nagy felületen történik, a hőtranszport - elsősorban hőszugárzás - jól kontrolálható és a húzás sebessége sokkal nagyobb lehet (>50 cm/perc). A húzás stabilitását különböző hordozók segíthetik. A Siemens AG. által kifejlesztett S-WEB technikában az olvadék felett egy hajlékony grafit hálósövetet húznak el. Ekkor a kristályosodás a szilíciumnál nagyobb abszorpciós állandójú grafiton kezdődik el és így terjed ki a teljes felületre, majd az egész szalagra. Ezáltal a szalag szélessége és vastagsága hosszútávon stabilizált, kis változásokra nem érzékeny és így 1 m/perc húzási sebesség is elérhető [3].

Szemcsehatárok szerepe és vizsgálata

A/ Szemcsehatárok szerepe

A polikristályos alapanyagból készült celláknak az egykristályos cellákkal elért eredményektől elmaradó hatásfokát elsősorban a szemcsehatárok jelenlétével magyarázhatjuk. A szemcsehatárok, mint rekombinációs centrumok, csökkenthetik a kisebbségi töltéshordozók élettartamát, és az, mint láttuk, a cella hatásfokának jelentős csökkenését okozhatja. Másrészt a szemcsehatárok a felületi állapotosságuktól függő nagyságú barriert alkothatnak és ezzel a fotocella soros ellenállását növelhetik, ami a munkapont eltolódása miatt szintén komoly hatásfok-csökkenést okozhat. Ezen kívül a szemcsehatárok, illetve a szemcsehatárok által okozott mechanikai feszültségek diszlokációk forrásai lehetnek, melyek szintén a kisebbségi töltéshordozók élettartamát és így a hatásfokot csökkentik.

Ugyanakkor nem minden szemcsehatár okoz ilyen hatásokat. Több tényező is befolyásolhatja, hogy egy szemcsehatár elektromosan mennyire aktív, és így esetleg a kristálynövesztés körülményeinek megváltoztatásával vagy utólagos passziválással hátrányos hatásai csökkenthetők. Erősen befolyásolja a szemcsehatárok jellegét, hogy a két szemcse atomjai hogyan illeszkednek egymáshoz. Néhány, ún. koherens szemcsehatár semmilyen elektromos hatást nem mutat, és így a fotocella működését sem befolyásolja. Szilícium esetében ilyen például az 111 kristálytani síkban elhelyezkedő ikerszemcse határ, ahol az 111 atomrétegek teljesen sértetlenek, csupán sorrendjük változik meg.

Más szemcsehatárok esetében viszont az atomok nem illeszkednek ilyen tökéletesen, és a szemcsehatár mentén nagy - a félvezető tiltott sávjába eső - energiaállapot-sűrűség jön létre, azaz a szemcsehatár elektromosan aktív válik. Ezen kívül a szemcsehatár energetikailag kedvező lehet a félvezetőben lévő szennyező atomok megkötésére, valamint diszlokációk és kisebb precipitátumok kialakulásához, melyek szintén elektromos aktivitásukat növelhetik [4], [5].

A kialakuló szemcsestruktúra a kristálynövesztés körülményeitől függ, de jól kontrolálható növesztési eljárásoknál bizonyos mértékig befolyásolható (szemcseméret, mechanikai feszültségek, bizonyos fokú orientáltság, stb.). A szemcsehatárok elektromos aktivitása passzíválással (pl. hidrogén) csökkenthető. Ezen kívül fontos, hogy a fotocella kialakításánál alkalmazott technológia megtervezésekor az alapanyag tulajdonságait figyelembe vegyék, hogy ezzel a folyamatindukált hibák kialakulását minimalizálják [6].

B/ Szemcsehatárok vizsgálata

A szemcsehatárok szerkezetét, elektromos tulajdonságait legjobban külön erre a célra növesztett bikristályokon lehet vizsgálni. Ezeket az egyetlen szemcsehatárt tartalmazó kristályokat a Czochralski-módszerhez hasonlóan növesztik, de két egymáshoz képest megfelelően elhelyezett és orientált indítókristályt merítenek az olvadékba. A szemcsehatár elektromos tulajdonságait a rajta átfolyó áram I-V karakterisztikájának felvételével lehet vizsgálni, a szemcsehatáron és közvetlen környezetében lévő hibahelyeket pedig DLTS módszerrel lehet feltérképezni, ahol a módszerhez szükséges barrier maga a szemcsehatár. Ezeket a kristályokon az elektronmikroszkópiához szükséges mintapreparáció is könnyebben elvégezhető.

Ugyanakkor ha egy adott polikristály szemcsestruktúrájának vizsgálata a cél, akkor, kivéve a nagyon nagy szemcséket tartalmazó anyagot, nem lehetséges egyes szemcsehatárokat külön-külön megvizsgálni. Ebben az esetben transzmissziós elektronmikroszkópia (TEM) és pásztázó elektronmikroszkóp - elektronsugár által indukált áram (SEM-EBIC) módszer együttes alkalmazásával lehet az anyag geometriai és elektromos szerkezetét megismerni (például: [7]).

A TEM módszerrel a diffrakciós leképezések (reciprok rács, Kikuchi-vonalak) és az elhajlási (diffrakciós) kontraszt együttes felhasználásával megállapítható

- a szemcsék orientációja,
- a szemcsehatárok eloszlása a mintában,
- szemcsehatárok geometriai felépítése, tehát az őket alkotó szemcsék relatív orientációja, a szemcsehatár síkjának ill. síkjainak kristálytani indexei, a tördelt (nem egy síkban fekvő) szemcsehatárok geometriája és a különböző

szemcsehatárok találkozási vonalainak felépítése,

- a szemcsehatárok síkjában és az azon kívül elhelyezkedő diszlokációk száma és jellege,
- a szemcsehatárokon vagy máshol kialakult precipitátumok léte és nagyobb precipitátumok kristályszerkezete,
- a szemcsehatárok, diszlokációk, precipitátumok által keltett deformáció jelenléte és eloszlása.

Nagyfelbontású elektronmikroszkóppal (HREM) a szemcsehatárok atomos felépítése (az atomsíkok illeszkedése, a szemcsehatár néhány atomréteg nagyságrendű töredezettsége és disszociációja stb.) is megismerhető (például [8]).

A SEM-EBIC módszerrel viszont információ nyerhető

- a szemcsehatárok elektromos aktivitásáról,
- a különböző aktivitású szemcsehatárok eloszlásáról (egy a TEM-mintánál jóval nagyobb mintafelületen),
- a szemcsék diszlokációsűrűségéről,
- a kristály különböző részeiben a kisebbségi töltéshordozók élettartamáról.

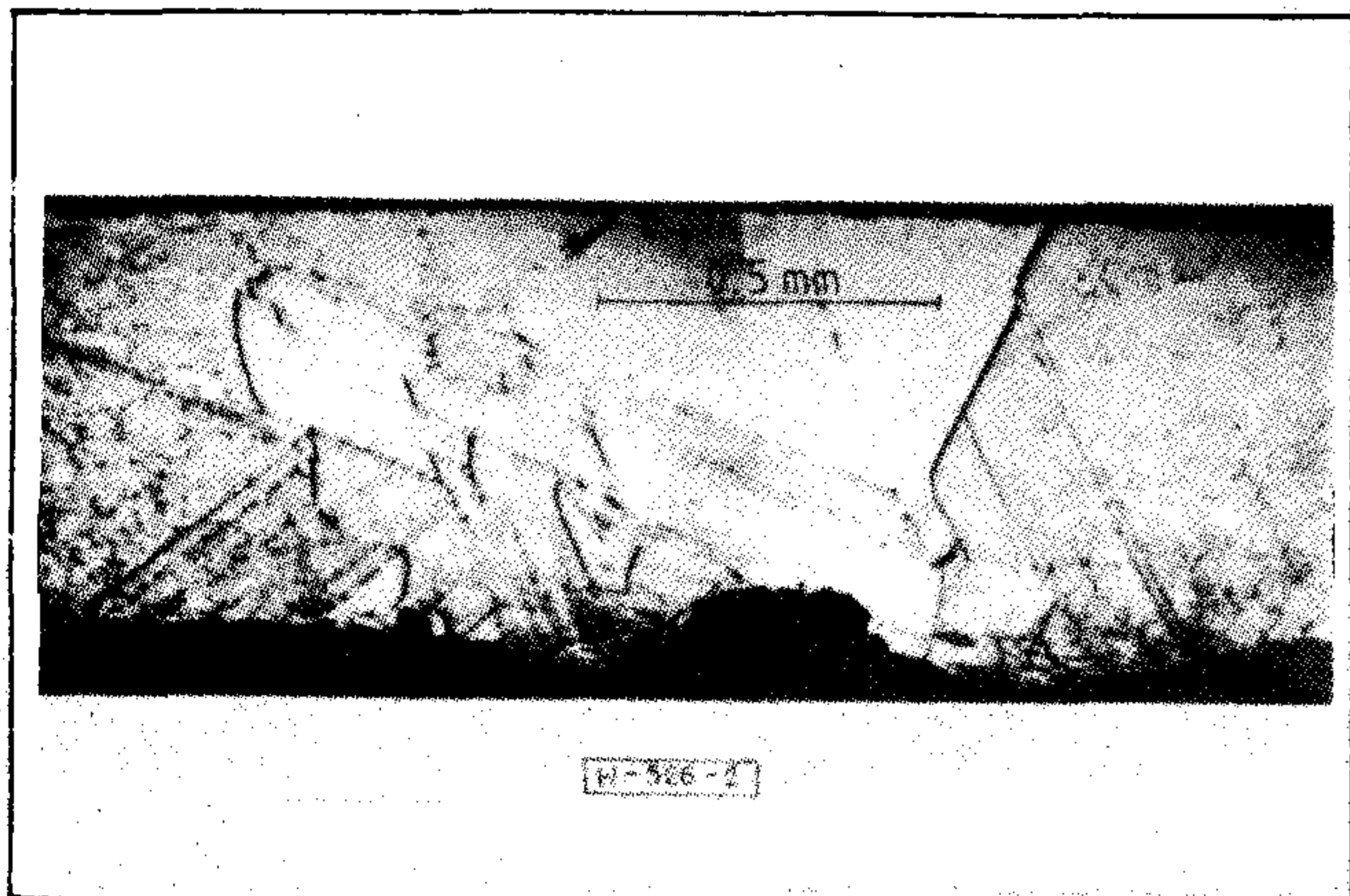
(A SEM-EBIC módszerben a monitoron az elektronsugár által indukált áram felületi eloszlása jelenik meg és így a rekombinációs centrumok sötét kontraszttal láthatóvá válnak).

A két vizsgálat összevetését nehezíti, hogy más-más mintakészítés szükséges hozzájuk (a SEM-EBIC minta lényegében egy, a kristály polírozott felületén vákuumgőzöléssel létrehozott Schottky-dióda, míg a TEM minta egy csiszolással, polírozással, ionsugaras marással közepén 20-200 nm-ig elvékonyított néhány mm nagyságú kristálydarab), így egyazon részletről igen nehéz mindkét módszerrel felvételt készíteni. De a két módszerrel nyert eredmény ennek hiányában is összevethető és korrelálható.

A szerző a fentebb már ismertetett S-WEB fotocella-alapanyag szalagszilícium szemcsehatár struktúráját vizsgálta ezzel a két módszerrel. Ez az anyag érdekes átmenet a hordozó nélkül húzott szalagok és az össze-függő hordozóval növesztett szalagok között. Előbbieknél a kristályosodás iránya a szalag felületével párhuzamos, utóbbiaknál (közel) merőleges. Az S-WEB anyagban a kristályosodási magként is működő grafit hálózó miatt a kristályosodási folyamat sokkal bonyolultabb, hiszen a kristályosodási frontok több irányból, a grafit szálakról indulnak és a hálózóközéppén találkoznak. Ennek ellenére, mint ahogy az a következőkben látható, a kristály szemcsestruktúrája aránylag egyszerű, zömében nagyobb szemcsékből áll és a szemcsehatár szerkezetet nagyon nagy részben ikerszemcse határok és ikerlamellák uralják [9].

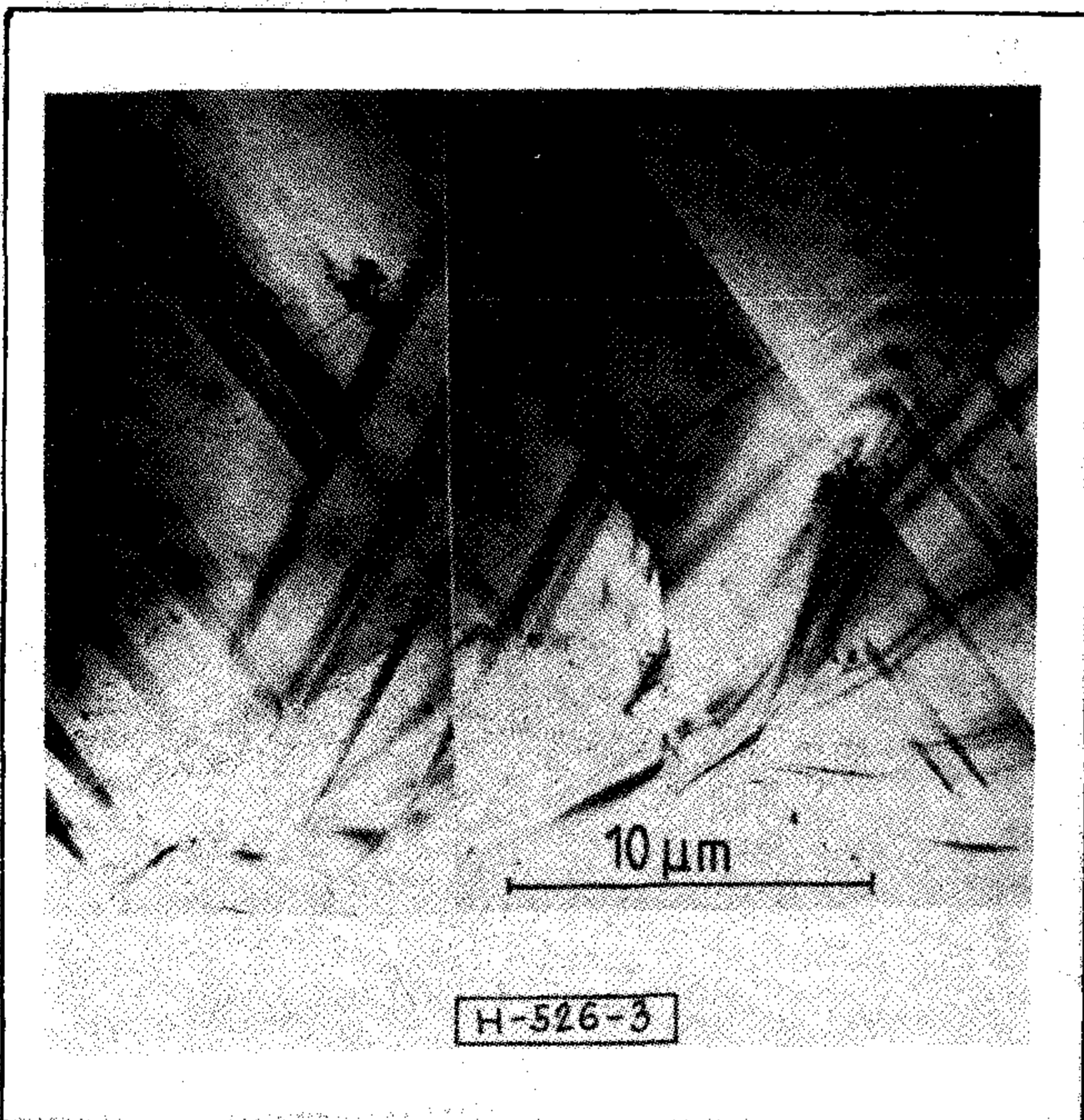
A SEM-EBIC minták különböző polírozott metszeten Al ill. Ti-Au gőzöléssel készültek. A TEM minták (részben a szalag felületével párhuzamos minták, részben több szalag összeragasztásából készült met-

szetek) csiszolás, kétoldali polírozás és ionsugaras vékonyítás után kerültek vizsgálatra. A SEM-EBIC felvételek 20-30 kV-os, a TEM felvételek 120 kV-os gyorsítófeszültséggel készültek.



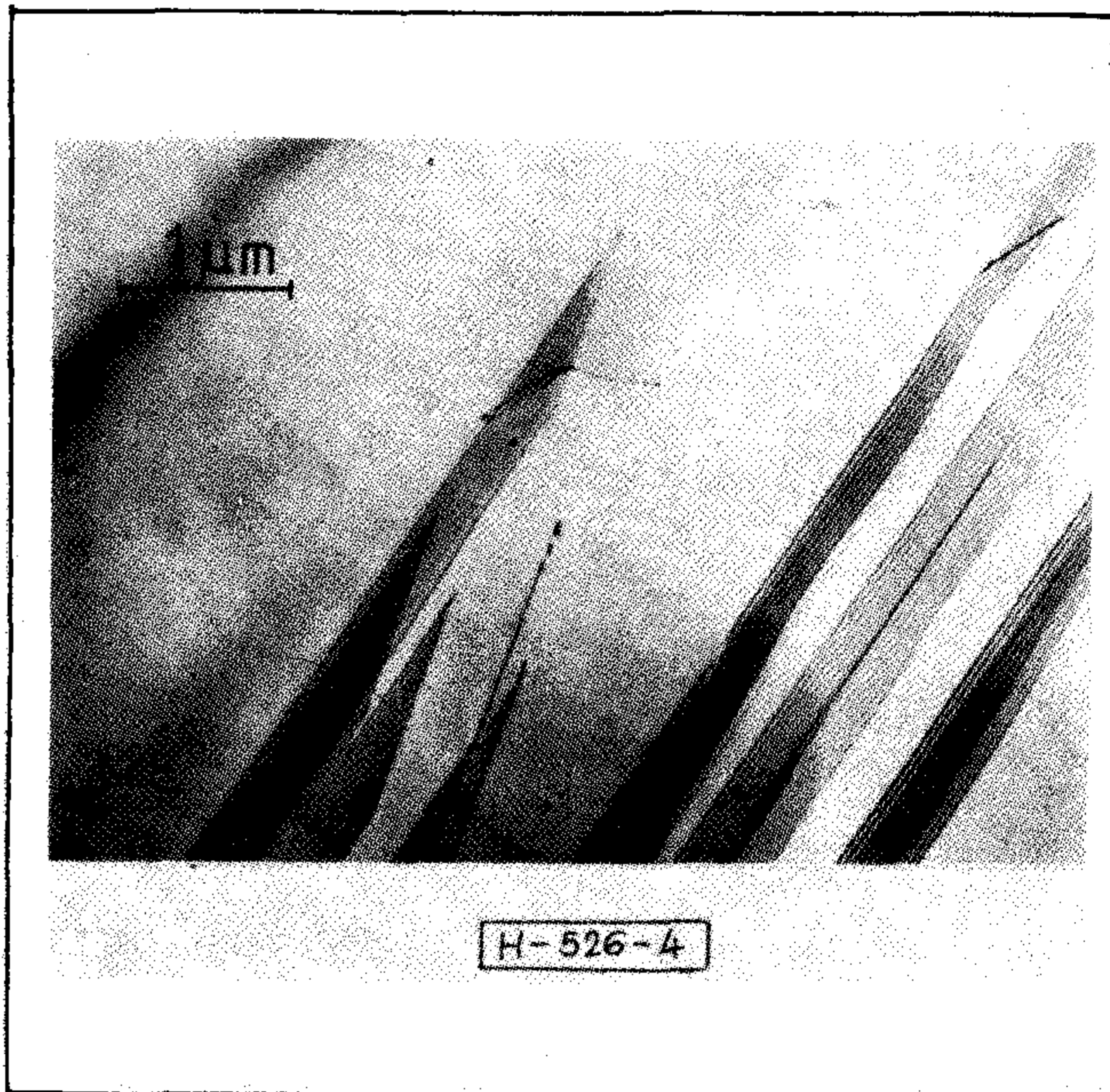
2. ábra. Jellegetes EBIC-kontraszt kép S-WEB szalagszilícium metszetén

A 2. ábrán egy tipikus SEM-EBIC felvétel látható. A metszet felső, simább pereme a szalag aktív felülete, ahol a fotocellákat kialakítják, alul a grafitcsálak nyomai láthatók. A képen több teljes hosszában vagy részleteiben erős kontrasztú szemcsehatár látható, ugyanakkor felismerhetőek párhuzamosan futó, gyenge kontrasztot adó (néha teljesen eltűnő) ikerhatárok és ikerlamellák is. Némelyik szemcse teljesen diszlokációmentesnek látszik (világos mező), mások diszlokációkkal teljesen kitöltöttek. A diszlokációban szegény szemcséket általában erős kontrasztú szemcsehatár övezi – valószínűleg ezeknél a szemcséknél a kristályosodás folyamán a szennyezők a szemcsehatárok mentén koncentráálódtak.



3. ábra. Ikerlamellák és ikerhatárok két egymást metsző rendszerre. S-WEB Si, kis nagyítású TEM kép

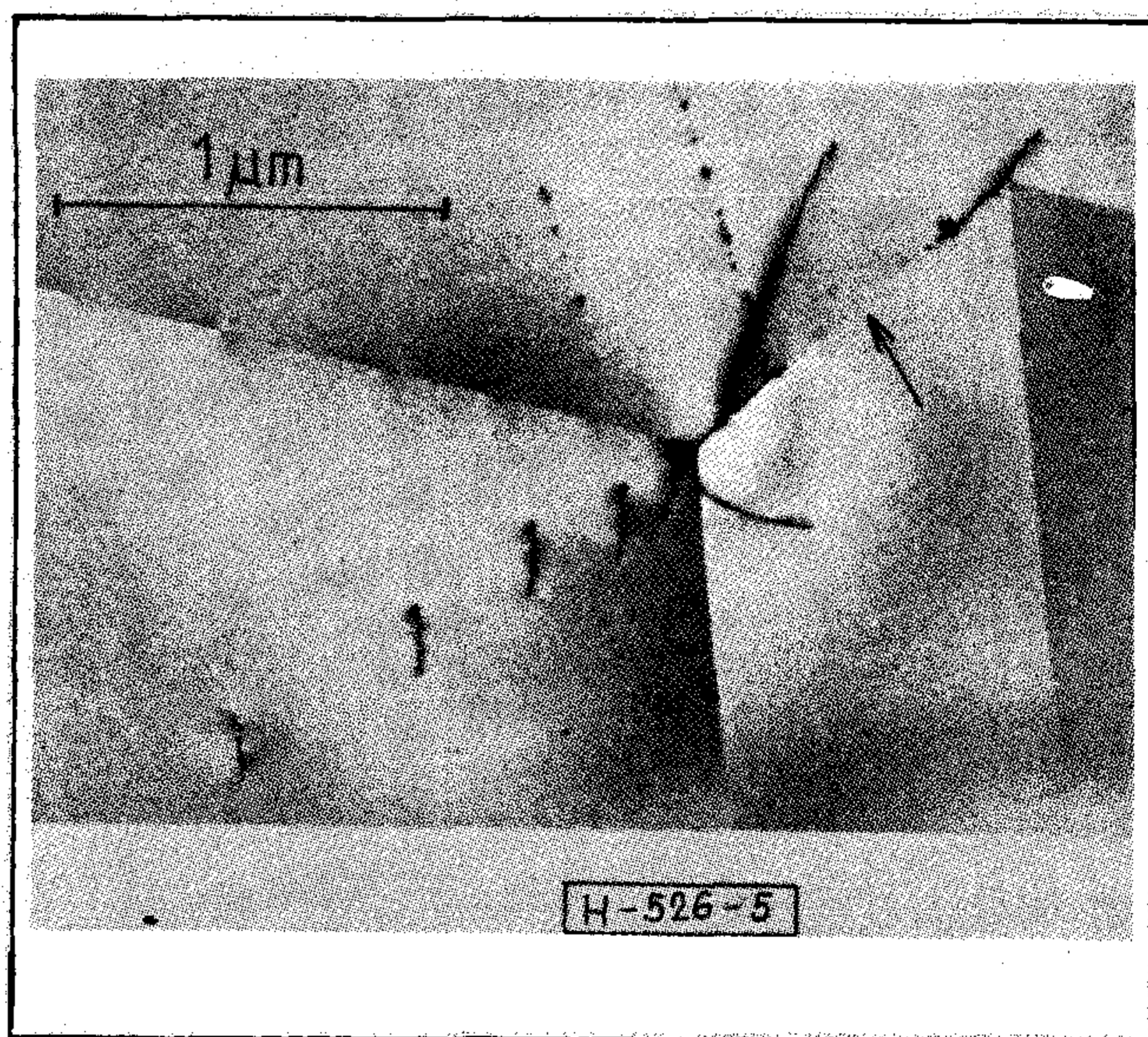
A 3. ábrán látható kis nagyítású TEM felvételen jól láthatóak a párhuzamosan futó ikerlamellák és ikerhatárok. Itt két 111 síkrendszer is felismerhető. Ugyanakkor a szemcsék jelentős része minden kiterjedt hibától mentes egykristály. A 4. ábrán látható vékony ikerlamellákon jól megfigyelhető az elhajlási kont-



4. ábra. Vékony ikerlamellák. A lamellák párhuzamos 111 síkokban fekszenek. S-WEB Si, TEM, 120kV

rasztra jellemző periodikus intenzitású leképezés. A képen néhol több lamella is átfedi egymást. Jól láthatóak a lamellákat határoló diszlokációk is.

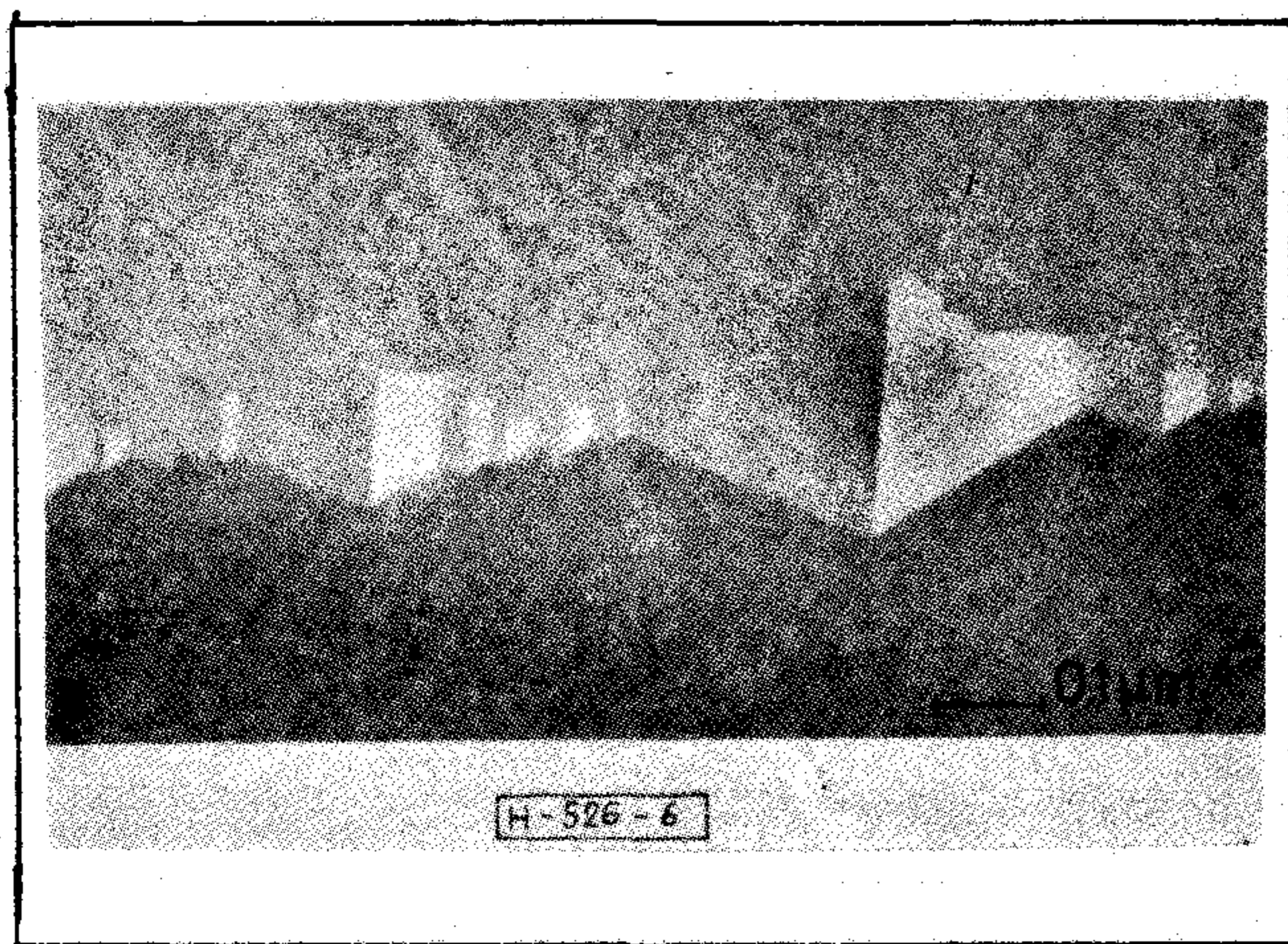
Az 5. ábrán a szemcsehatárok a leképezés síkjára merőlegesen helyezkednek el, az összes szemcsében közös $\langle 110 \rangle$ irányból láthatók. Két ikerhatár találkozásánál egy másodrendű ikerhatár (nyíllal jelölve) keletkezik. A kép közepén lévő csomópont körüli gyűrűs



5. ábra. Két ikerhatár és egy másodrendű ikerhatár (nyíl) találkozása. A csomópont körüli mechanikai feszültség diszlokációk forrása. S-WEB, TEM, $B = \langle 110 \rangle$

kontraszt mechanikai feszültség jelenlétét mutatja. Ezt a kristály diszlokációkkal próbálta csökkenteni. Jól látható, hogy a balra lefelé futó diszlokációsor ebből a pontból származik. Lehetséges, hogy egyes szemcsék ilyen mechanizmussal töltődnek fel diszlokációkkal.

Végül a 6. ábrán egy ikerhatár kisléptékű (100 nm) disszociációja látható (leképezés itt is a közös $\langle 110 \rangle$ irányból). A kép tetején és alján lévő nagy szemcsék egymással iker viszonyban vannak, de a határ síkja (a képen kb. vízszintes) a két szemcse között energetikailag kedvezőtlen lenne. Így a kristálynövesztéskor inkább nagyobb felületű, de kisebb energiájú első és másodrendű ikerhatárokból álló struktúra alakul ki. A nagyszámú törés és elágazás ezt a szemcsehatár szakaszt elektromosan aktívvá teszi. Az, hogy egy koherens, elektromosan inaktív szemcsehatár egyes szakaszain ilyen bonyolulttá válik, megvilágítja a SEM-EBIC képen látható, csak szakaszosan kontrasztot adó szemcsehatárok mibenlétét.



6. ábra. Ikerhatár kisléptékű disszociációja. S-WEB, TEM, $B = \langle 110 \rangle$ az összes szemcsében

Mint ez a néhány példa mutatja, a két módszer egybevetése fontos információkat ad a kristály szemcse-szerkezetének és elektromos aktivitásának összefüggéseiről, ami pedig a kristálynövesztés körülményeinek és az anyagból készülő fotocella hatásfokának kapcsolatát segít megérteni.

Összegzés

A napenergia az emberiség egyik legígéretesebb hosszútávú energiaforrása, de ahhoz, hogy felhasználása gazdaságossá váljék, megfelelő alapanyagokra és

technológiákra van szükség. Áttekintettük az alapanyaggal szemben támasztott követelményeket és megismertünk néhány korszerű, gazdaságos kristálynövesztési eljárást. A fotocellák hatásfokát jelentősen befolyásolja a polikristály szemcsehatár szerkezete – melynek vizsgálatára a TEM és a SEM-EBIC módszer együttes használata célravezető. A szerző ezzel a két módszerrel S-WEB szalagszilíciumot vizsgált, befejezésül ennek a vizsgálatnak néhány jellegzetes eredményét láthattuk.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönettel tartozik a Deutscher Akademischer Austauschdienst-nek (DAAD) a 10 hónapos NSZK-beli ösztöndíj adományozásáért; Dr. Horst Strunk professzornak (TU Hamburg-Harburg), aki munkacsoportjába befogadott, valamint Andreas Frahm-nak és a munkacsoport többi tagjának, szakmai és emberi segítségnyújtásukért; Dr. J. Grabmaiernek (Siemens AG.), a szíves együttműködésért és Dr. Kormány Teréznek mindenre kiterjedő tanácsaiért és segítségéért.

IRODALOM

- [1] E. Bucher: Photovoltaic Power Phys. Technol. 17, pp. 152-62, 1986.
- [2] R. Mertens: Crystalline Silicon Solar Cells in: Silicon: Material science and Technology, Ed: G. Harbeke & M. Schulz, Springer-Verlag, megjelenés alatt.
- [3] R. Falckenberg, J. G. Grabmaier: Growth of Silicon Sheet Material for Solar Cells Using the Supported Web Technique Siemens Forsch. u. Entwickl.-Ber. 15, pp. 163-70, 1986.
- [4] A. Bourret: Atomic Structure of Grain Boundaries in: Polycrystalline Semiconductors, Ed: G. Harbeke, Springer-Verlag, 1985.
- [5] M. Aucouturier: Grain Boundary Segregation. Grain Boundary Diffusion in: Polycrystalline semiconductors, Ed: G. Harbeke, Springer-Verlag, 1985.
- [6] R. Gleichmann, B. Cunningham & D. G. Ast: Process-induced defects in solar cell ribbon J. Appl. Phys. 58, pp. 223-9, 1985.
- [7] B. Cunningham, H. Strunk & D. G. Ast: First and second order twin boundaries in edge defined film growth silicon ribbon Appl. Phys. Lett. 40, pp. 237-9, 1982.
- [8] B. Cunningham, H. Strunk & D. G. Ast: High resolution electron microscopy of a $\theta = 27^\circ$ boundary in silicon Scripta Metallurgica 16, pp 349-52 1982.
- [9] P. Vankó, H. Strunk J. Grabmaier: Grain boundary structure of S-WEB Si ribbon in: Physical Properties of Grain Boundaries and Interfaces. Ed: J. Werner. Springer-Verlag, megjelenés alatt.



**BERUHÁZÁS HELYETT –
KÖLCSÖNÖZZÖN MŰSZERT**



csak egy telefon: 181-0903

ÉS MÁRIS hozzájuthat a legkorszerűbb precíziós műszerekhez! **MEGTÉRÜL A KÖLCSÖNDÍJ,** mert: a megfelelő időszakban rendelkezésre álló, **MÉRÉSAUTOMATIZÁLÁSRA** is alkalmas korszerű műszerek használatával időt, munkaerőt, adót, amortizációs költségeket, javítási-karbantartási költséget takarít meg. **NE FELEDJE,** egy műszer haszna a mérésekből, nem pedig a tulajdonjogból ered! **NE SZAPORÍTSA KIHASZNÁLATLAN ESZKÖZEIT!**

ÓRIÁSI VÁLASZTÉK, oszcilloszkópok, multiméterek, jelgenerátorok, analizátorok, mérésadatgyűjtők, regisztrálók, analitikai-környezetvédelmi műszerek, rendszervezélők, stb.

ÁLL AZ ÖN RENDELKEZÉSÉRE.

Fogyóanyag, tartozék-pótlás ugyancsak forintért!

LÍZING LEHETŐSÉG: egyes műszer vagy számítógép típusokra!

SZAKTANÁCSADÁS – HÁZHOZZÁLLÍTÁS – BEMUTATÁS!

KÉRJE INGYENES KÖLCSÖNMŰSZER KATALÓGUSUNKAT!

FELVILÁGOSÍTÁS, ELŐJEGYZÉS, ÜGYINTÉZÉS: 181-0903 vagy 166-2366/176 telefonszámokon.



**MTA MŰSZERÜGYI ÉS MÉRÉSTECHNIKAI
SZOLGÁLAT MŰSZERKÖLCSÖNZÉSI FŐOSZTÁLY**
Budapest XI., Szakasits Á. út 59–61. I. em. 107. szoba
H-1502 Budapest, Postafiók 58

Digitális jel átviteli tulajdonságainak javítási lehetőségei a 400 MHz-es sávban

ROZVÁNYI IVÁN
ORION

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a tévesztés-többszöröződés kiküszöbölésének lehetőségeivel foglalkozik 400 MHz-es berendezésben és rámutat az egyoldalsávú amplitúdómoduláció előnyeire.

Bevezetés

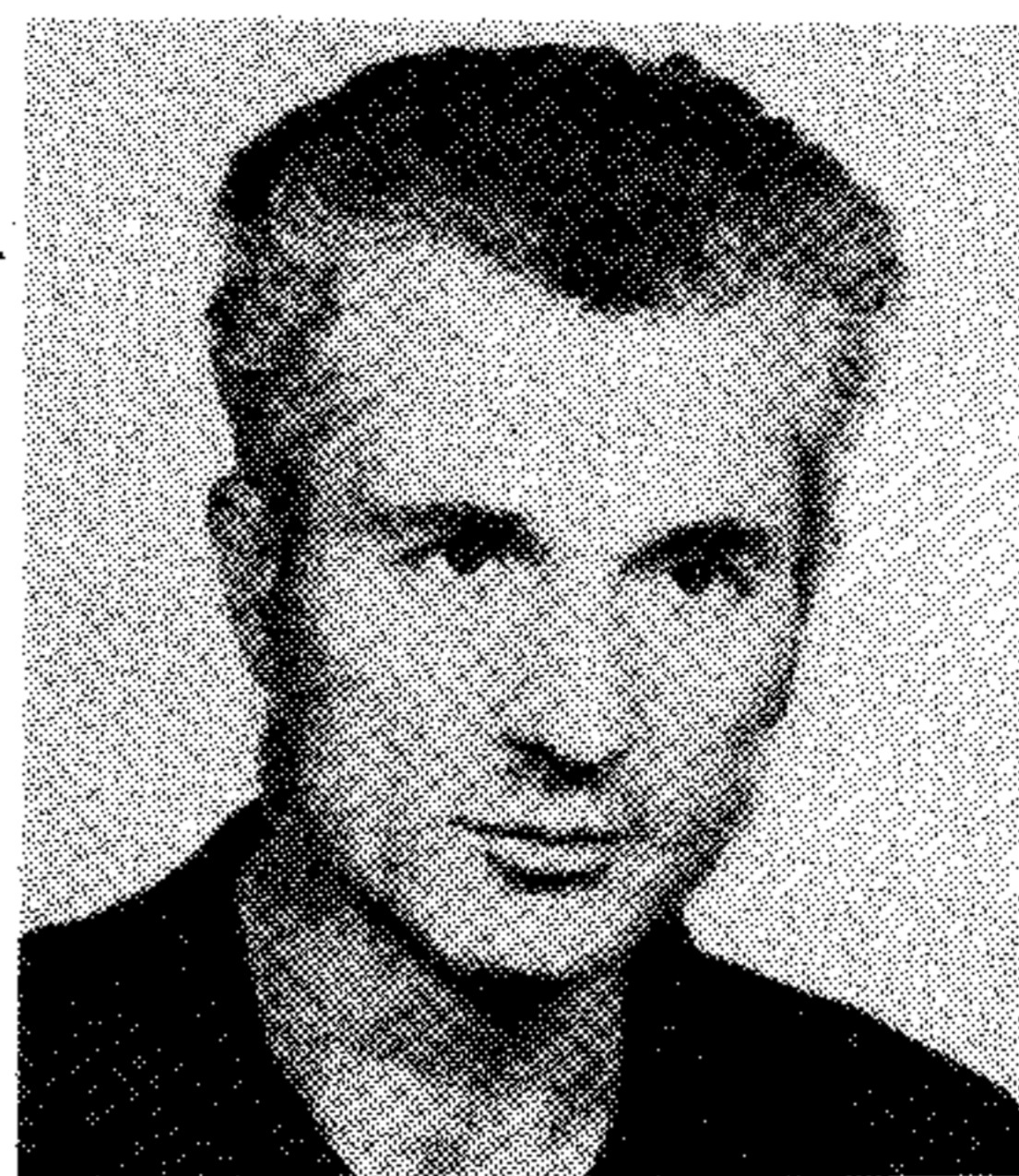
A 400 MHz-es frekvenciatartomány közismerten nem szerencsés digitális átvitelre, elsősorban az emberi tevékenységből származó zajok (a továbbiakban a rövidség kedvéért "ipari zajok") miatt. Ennek ellenére több postaigazgatóság használja ezt a frekvenciasávot kiscsatornaszámú digitális rádiórelé rendszerekben vagy engedélyezi a használatát önálló, a postai hálózattól független digitális hírközlőlánc kiépítésére. A felhasználást indokolhatja a viszonylag alacsony ár, a helyi infrastruktúrába való jobb beilleszkedés és a magasabb frekvenciatartományok tényleges vagy perspektívikus telítettsége. Így a piaci igény ilyen berendezésekre várhatóan még éveken át megmarad.

Az ipari zaj hatása

Az ipari zajok által okozott tévesztések annyiban különböznek a termikus zaj által okozottaktól, hogy időben erősen változnak, csoportosan jelentkeznek és a vevőszint növelésével sokkal lassabban csökkennek, mint a termikus zaj által okozott tévesztések. Az utóbbi sajátságokra vonatkozó számszerű adatok: termikus zajnál durván 1,5 dB vevőszint emelkedés okoz egy nagyságrend javulást a hibaarányban, ipari zaj esetén 6-8 dB-lel kell növelni a vevőszintet ahhoz, hogy a hibaarány egy nagyságrendet javuljon. Erre vonatkozó méréseink és egy CCIR jelentés [1] eredményeit az 1. ábra mutatja. Mint látható, a mért görbék - a berendezéstípus és a mérési körülmények különbözőségéből adódóan - kvantitatíve eltérnek a CCIR által közölttől, de a görbék meredeksége egyértelmű egyezést mutat.

A tévesztések többszöröződésének csökkentése

A PSK modulációt alkalmazó digitális berendezéseknél általánosan alkalmazott önszinkronizáló szkremblerezés és differenciális kódolás a tévesztéseket megháromszorozza ill. megkétszerezi, összesen tehát meghatszorozza. Ez a tévesztés-hatszorozás termikus zajjal zavart összeköttetésben a fentiek szerint kb. 1 dB-lel, tehát jelentéktelen mértékben rontja a hibaarány-vevőszint görbét. Ugyanez a tévesztés-többszöröződés azonban ipari zajjal zavart összeköttetésnél 4-5 dB



ROZVÁNYI IVÁN

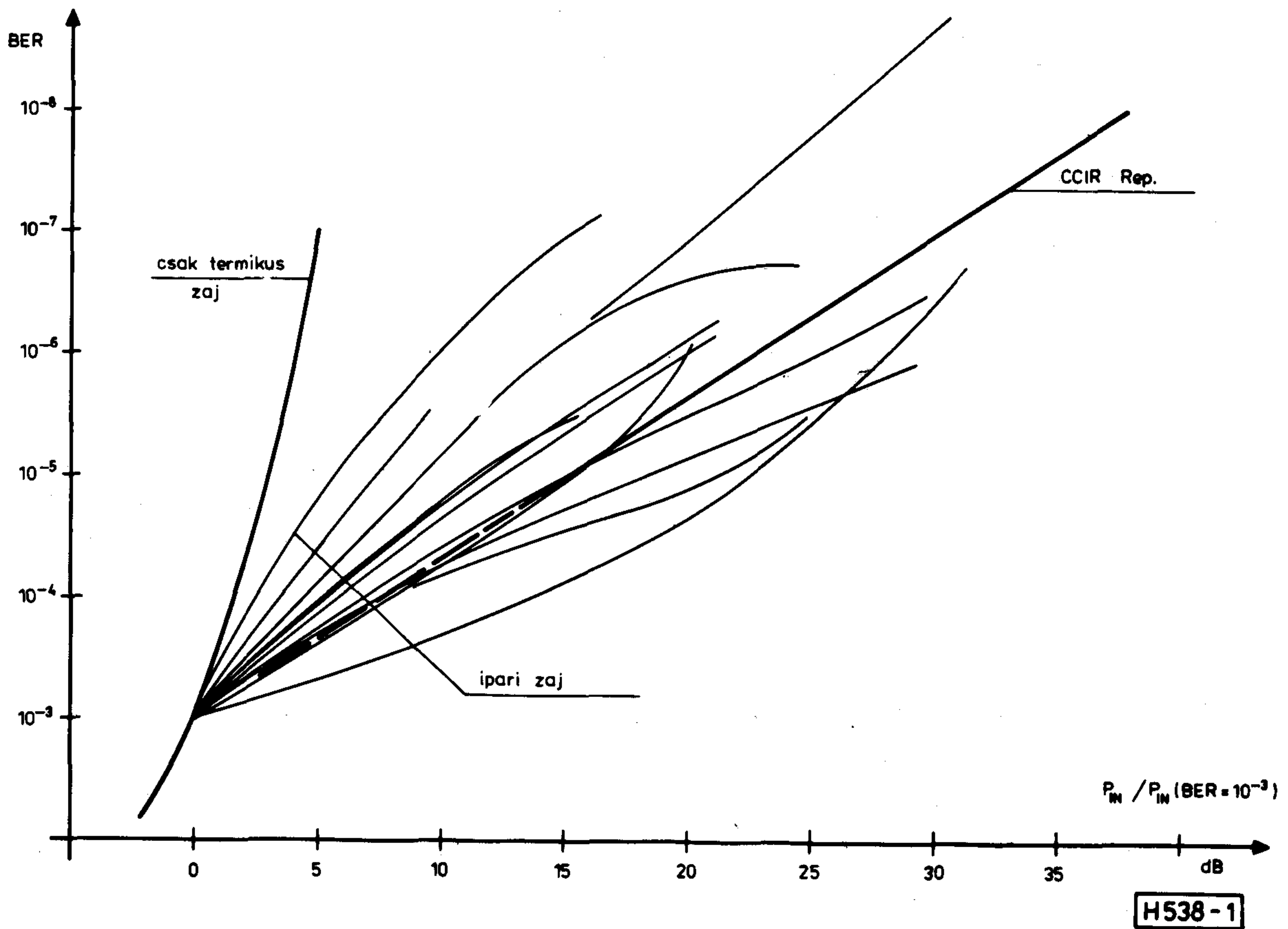
Okl. fizikus /ELTE/, 1956-tól először a BHG-ban dolgozott, majd 1965-től az ORION Rádió és Villamossági Vállalatnál foglalkozik a mikrohullámú átvitel témakörével. Érdeklődési területe elsősorban a digitális rádiórelé rendszerek.

romlást jelent. Utóbbi esetben tehát célszerűnek látszik az alapsávi digitális áramkörök komplikálása árán csökkenteni a tévesztés-hatszorozást, mert ez árban, fogyasztásban várhatóan előnyösebb, mint az adóteljesítmény vagy az antenna-nyereség növelése.

A tévesztés-háromszorozódás megszüntetésére ismert megoldás az önszinkronizáló szkrembler helyett reset szkrembler alkalmazása. Ennek elméleti hátránya, hogy az átvitel nem bit-sorozat független. Gyakorlatilag azonban ez nem jelent hátrányt, mert jelen alkalmazásban csak CCITT szerinti szabványos primer PCM jelsor átvitele jön szóba. A szkremblerező jel hossza max. egy kerettel egyezhet meg, két keret hosszúságú szkremblerező jel téves szinkronizáláshoz vezethet. A megoldás kétségkívül áramköri többletet jelent: szabványos primer PCM berendezéshez való csatlakozás esetén mind adó, mind vevőoldalon keretszinkron kereső áramkört kell beépíteni a rádiófrekvenciás részbe a szkrembler ill. a deszkrembler fázisának beállítására. Egyben gondoskodni kell arról, hogy a vevőoldali keretszinkron keresés ne késleltesse a PCM berendezés beszinkronizálását. Ez úgy oldható meg, hogy a vevőoldal addig, amíg nem találja meg a keretszinkront, deszkremblerezés nélkül továbbítja a vett jelsort a PCM berendezés felé. Így a beszinkronizálás a PCM berendezésben és a deszkrembler beállítása a vevőben gyakorlatilag egyszerre következik be. Bár ma már a szinkronkereső áramkör egy IC tokban kapható, mégis gazdaságosabb lenne a fentiek alapján a reset szkrembler és deszkrembler áramkört a PCM berendezésben elhelyezni, ez azonban speciális, a CCITT ajánlástól eltérő primer PCM berendezést jelentene.

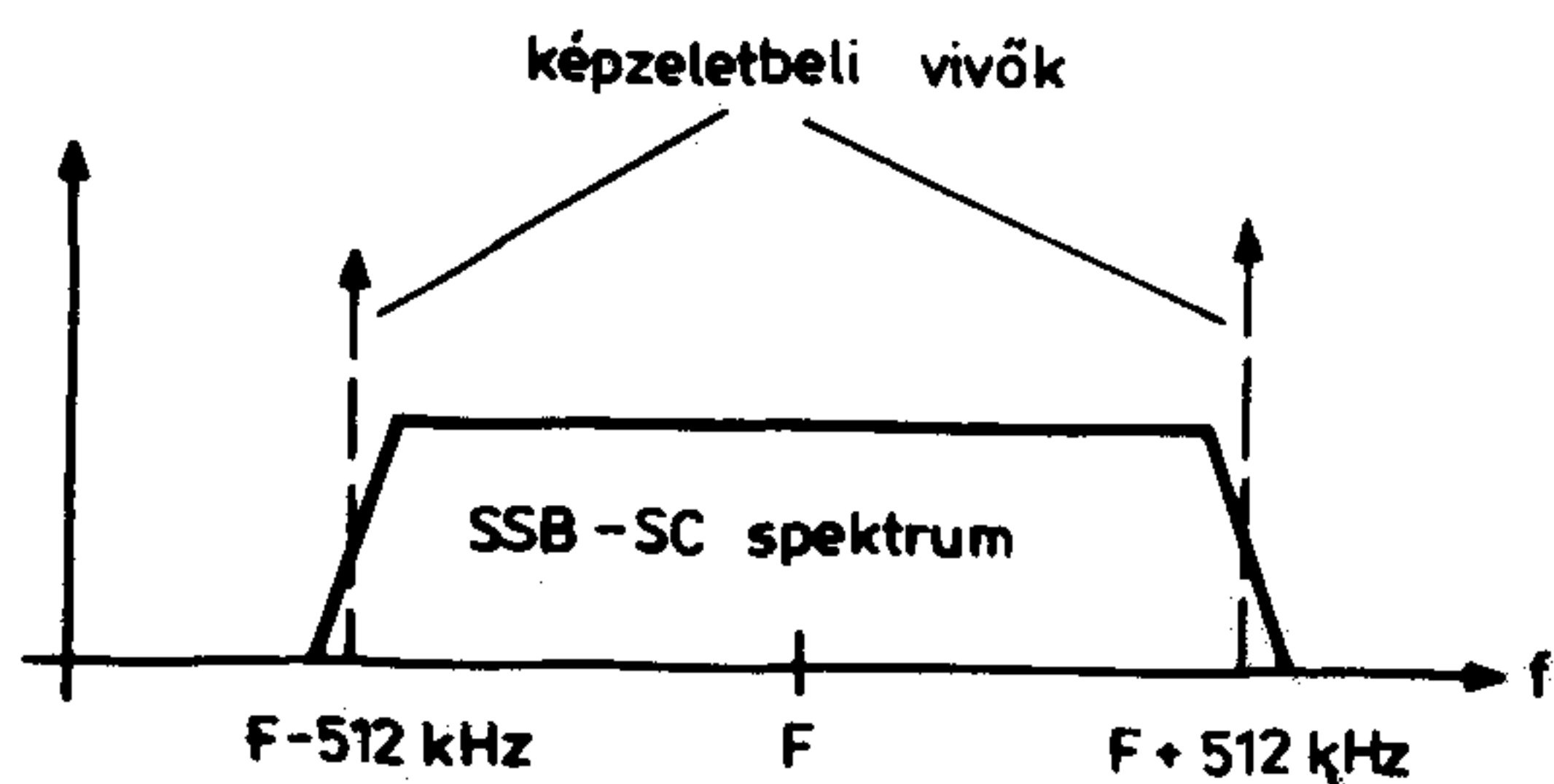
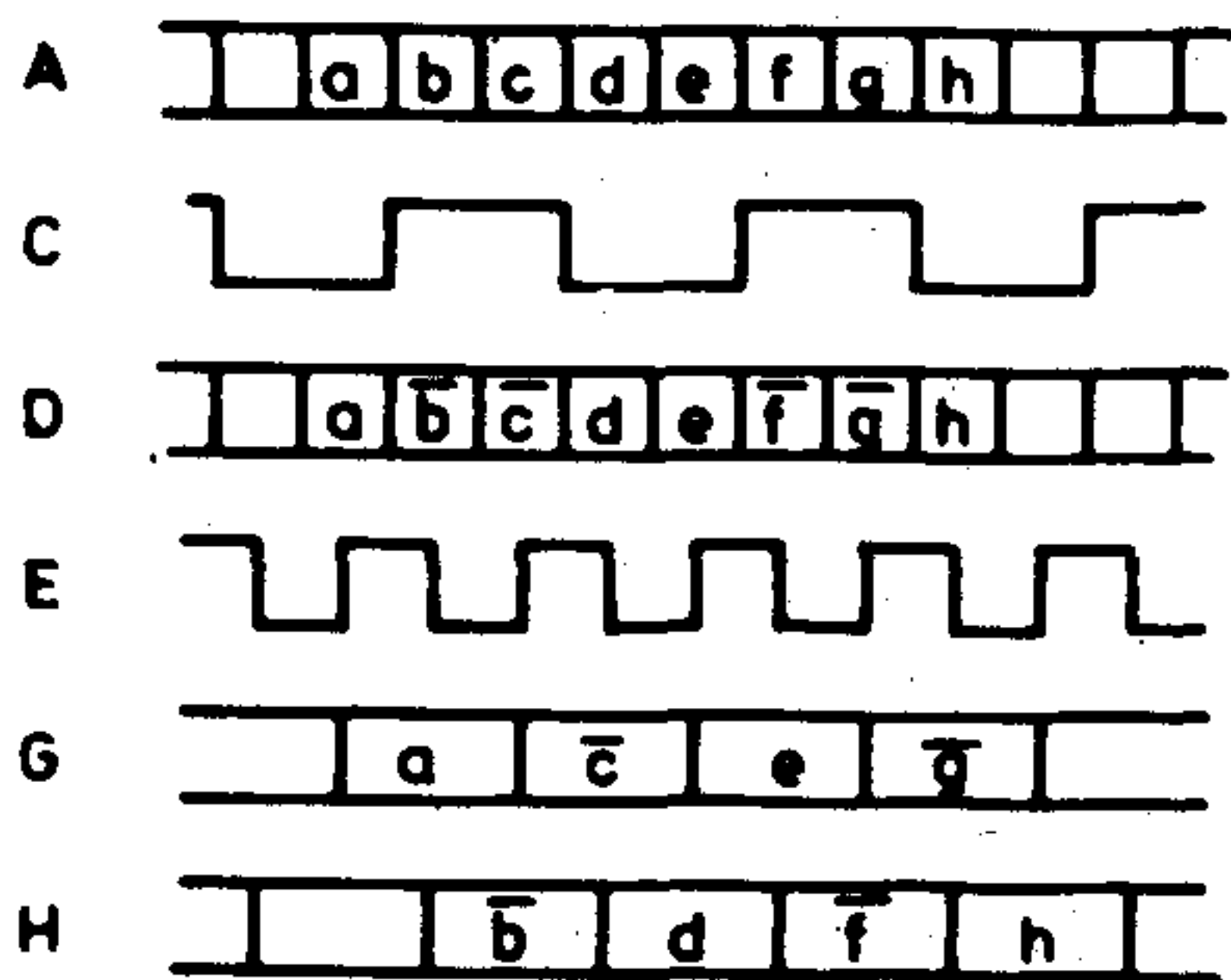
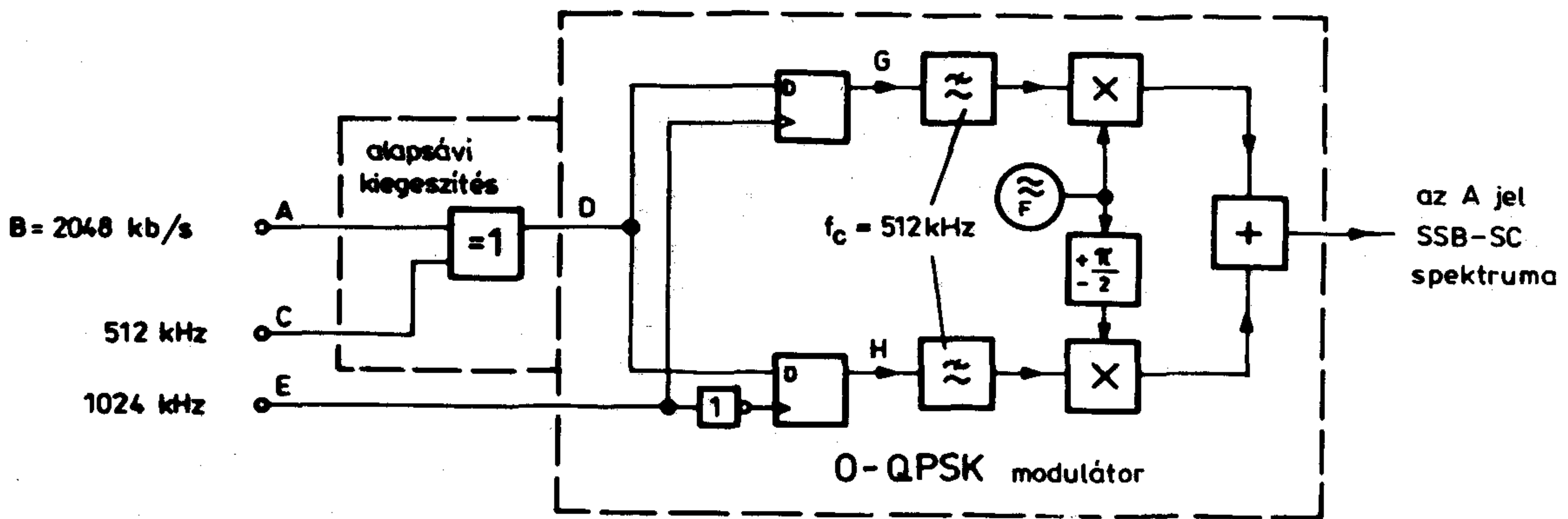
A differenciális kódolásból származó tévesztés-kétszereződés megszüntetésére ugyancsak a jelsorban lévő szinkron kódszó figyelése ad lehetőséget. Ha ugyanis nem használunk adóoldalon differenciális kódolást és vevőoldalon előállítjuk a koherens demoduláláshoz visszanyert vivő diszkrét fázisbizonytalanságából származó összes lehetséges demodulált jelsort, akkor - tévesztésmentes esetben - valamelyikben meg kell talál-

Beérkezett: 1989. V. 2. (*)



1. ábra. Szakaszcsillapítás és bit-hibaarány összefüggése

2. ábra. SSB-SC spektrum előállítása kétszintű AM rendszerben



H538-2

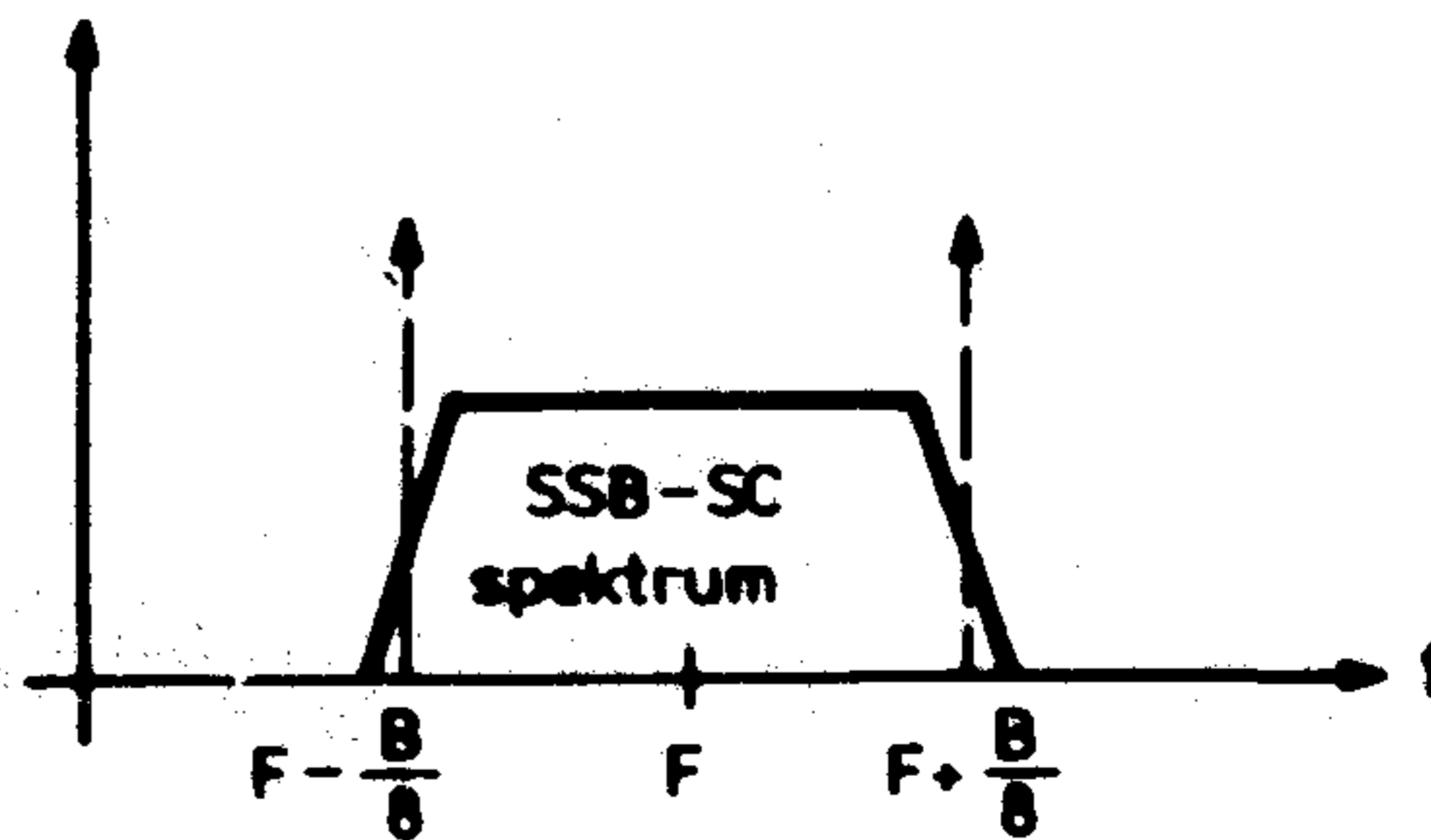
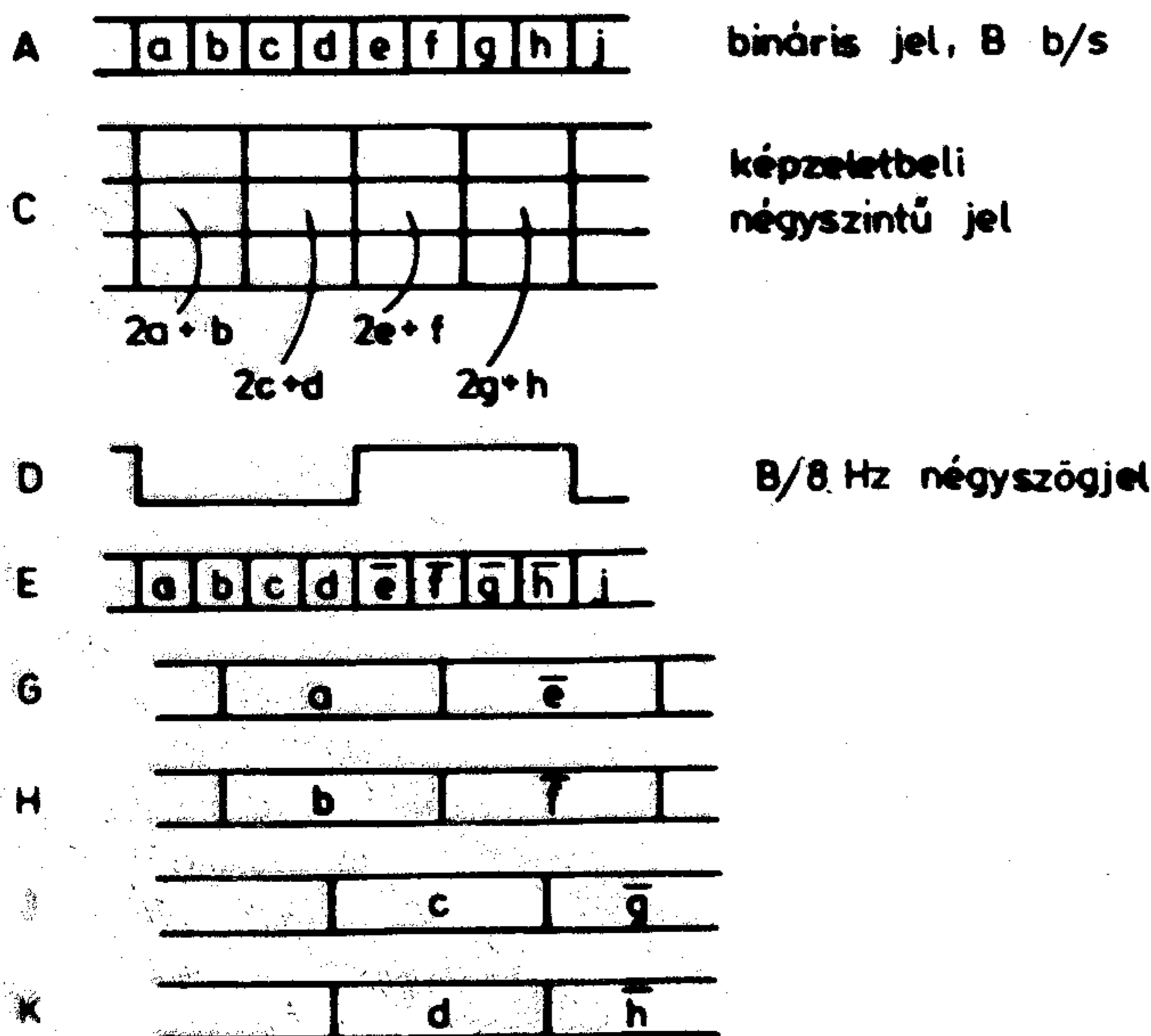
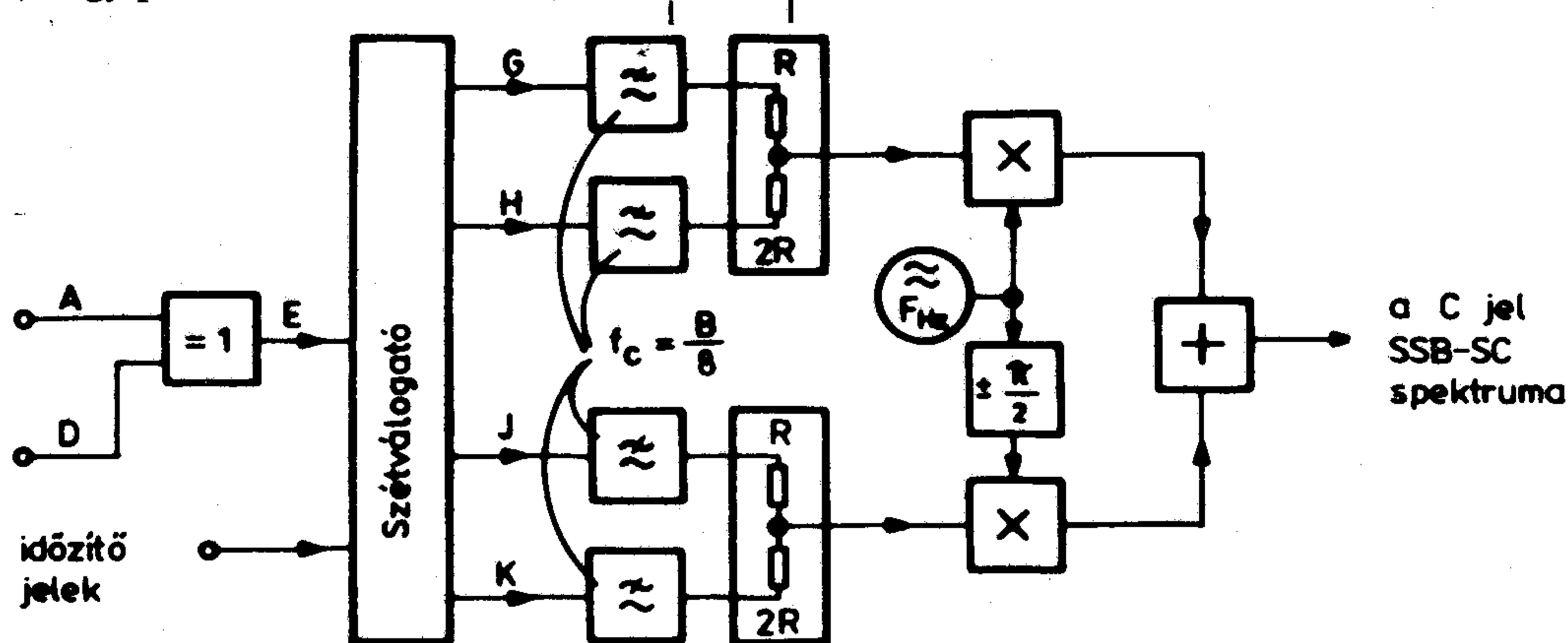
nunk az azonosítóként használt PCM szinkron kódszót. Nyilván ez a helyes vivő-fázissal demodulált jelsor, ezt kell a PCM berendezés felé kiadni. Például a leggyakrabban használt 4PSK esetén ez a megoldás átkódoló áramkörök, 4 db kódszó felismerő áramkör és egy - eléggé összetett - döntési sémát megvalósító áramkört igényel, de megszünteti a tévesztés-kétszereződést. A megoldás gyakorlati hátránya, pontosabban alkalmazási lehetőségének szűkítése, hogy csak viszonylag lassú, nagyidőállandójú vivővisszanyerő áramkörrel használható. A helyes vivőfázis megállapítására és korrigálására ugyanis szabványos PCM jelsor esetén csak $250 \mu\text{s}$ -onként, vagyis 512 bitenként van leggyakrabban lehetőség, így a vivő egyszeri diszkrét ciklus-csúszása (4PSK esetén $\pm 90^\circ$ vagy 180°) átlagosan száz vagy kétszáz bittévesztést okoz. (Ugyanez a ciklus-csúszás differenciális kódolásnál csak egy vagy pár bittévesztés többletet okoz.) Ezt a megoldást nyilván csak akkor érdemes alkalmazni, ha a vivő ciklus-csúszásából származó tévesztések száma legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a normál tévesztések száma. Ez azt jelenti, hogy pl. $\text{BER} = 10^{-3}$ esetén (ahol a

másodpercenkénti tévesztések száma kétezer), vivő ciklus-csúszásnak egy másodpercnél ritkábban szabad csak előfordulnia. Ez a követelmény nehezen elégíthető ki analóg szolgálati csatornát használó rendszerben, viszont egyszerűen megvalósítható külön szolgálati csatornát nem használó vagy bitinzertálást alkalmazó berendezéseknél.

Az amplitúdómoduláció előnyei

A differenciális kódolás előbbieken leírt megszüntetésére a digitális jelsor SSB-SC modulációs átvitele látszik áramkörileg a legegyszerűbbnek. Ennél a vivő 180° fázisbizonytalansággal nyerhető ki vevőoldalon, így a demodulált jel vagy az adóoldali jelsor, vagy annak invertáltja. Ez a tény nagymértékben leegyszerűsíti a vevőoldali kódszó felismerő és döntő áramkörök, de egyszerűsítheti a demodulátort is, mert a demoduláláshoz itt elég egy vivő jel és egy szorzó áramkör, nem kell két egymástól 90° -kal eltérő vivőt előállítani két szorzó áramkörrel.

Az SSB-SC spektrum előállítása minimális, csak alapsávi áramköri többletet igényel az O-QPSK mo-



3. ábra. SSB-SC spektrum előállítása négyszintű AM rendszerben

H538-3

dulációhoz viszonyítva: pl. kétszintű AM-hez csupán egy szokásos O-QPSK modulátorra menő jelsorban periodikusan két egymás utáni bitet invertálni kell, a következő két bitet változatlan polaritással kell továbbítani. így előállítható tetszés szerint a képzeletbeli, szabványos PCM jelsor esetén F-512 kHz frekvenciájú, alsó vivő felső oldalsávja, vagy a képzeletbeli, F+512 kHz frekvenciájú, felső vivő alsó oldalsávja (lásd 2. ábrát). Hasonlóan valósítható meg 16 QAM helyettesítésére négyszintű AM rendszer (lásd 3. ábrát; az ábra az igényes sávkorlátozáshoz FIR szűrőt feltételez, analóg aluláteresztő szűrőből áganként 1-1 db kell csak).

Mivel a fentiek szerint a sávkorlátozott bináris jel SSB-SC spektruma azonos egy (az átkódolás miatt másik) bináris jelsor O-QPSK spektrumával, a vett jel dekódolása történhet egy szokásos O-QPSK demodulátorral, de ebben az esetben az O-QPSK demodulátor kimenő jelét egy ugyanolyan egyszerű átkódolásnak kell alávetni, mint amit modulátor oldalon alkalmaztunk. Áramkörileg azonban egyszerűbb egy hagyományos SSB-SC demodulátor, ahol a visszaállított virtuális vivővel szorozzuk meg a vett jelet és így közvetlenül kapjuk meg a demodulált bináris jelsort. A demodulált jelsor polaritása természetesen mindkét módszernél bizonytalan a virtuális vivő 180°-os fázisbizonytalansága miatt.

A fenti megfontolásokban a magyar nyelvű szakirodalomban [2] is ismertetett megoldásoknak speciális esetünkre való alkalmazási lehetőségeit kívántuk bemutatni.

Függelék

Annak belátására, hogy az előzők szerint előállított jel valóban a kívánt SSB-SC jel, tekintsük a megfelelő analóg SSB-SC modulátor tömbvázlatát (4. ábra).

Az $\omega = 2\pi f$, $\omega' = 2\pi B$ és $\Omega = 2\pi F$ jelölésekkel, ha

$$f < \frac{B}{2}, \text{ akkor}$$

$$A = a \cos(\omega t + \varphi),$$

$$G = a [\cos(\omega t + \varphi)] \cos \frac{\omega'}{4} t = \frac{a}{2} \cos\left[\left(\omega + \frac{\omega'}{4}\right)t + \varphi\right] + \frac{a}{2} \cos\left[\left(\omega - \frac{\omega'}{4}\right)t + \varphi\right]$$

Mivel az első tag frekvenciája magasabb a szűrő határfrekvenciájánál,

$$I = \frac{a}{2} \cos\left[\left(\omega - \frac{\omega'}{4}\right)t + \varphi\right]$$

Hasonlóan:

$$H = a [\cos(\omega t + \varphi)] \sin \frac{\omega'}{4} t = \frac{a}{2} \sin\left[\left(\omega + \frac{\omega'}{4}\right)t + \varphi\right] + \frac{a}{2} \sin\left[\left(\omega - \frac{\omega'}{4}\right)t - \varphi\right]$$

$$J = \frac{a}{2} \sin\left[\left(\omega - \frac{\omega'}{4}\right)t + \varphi\right],$$

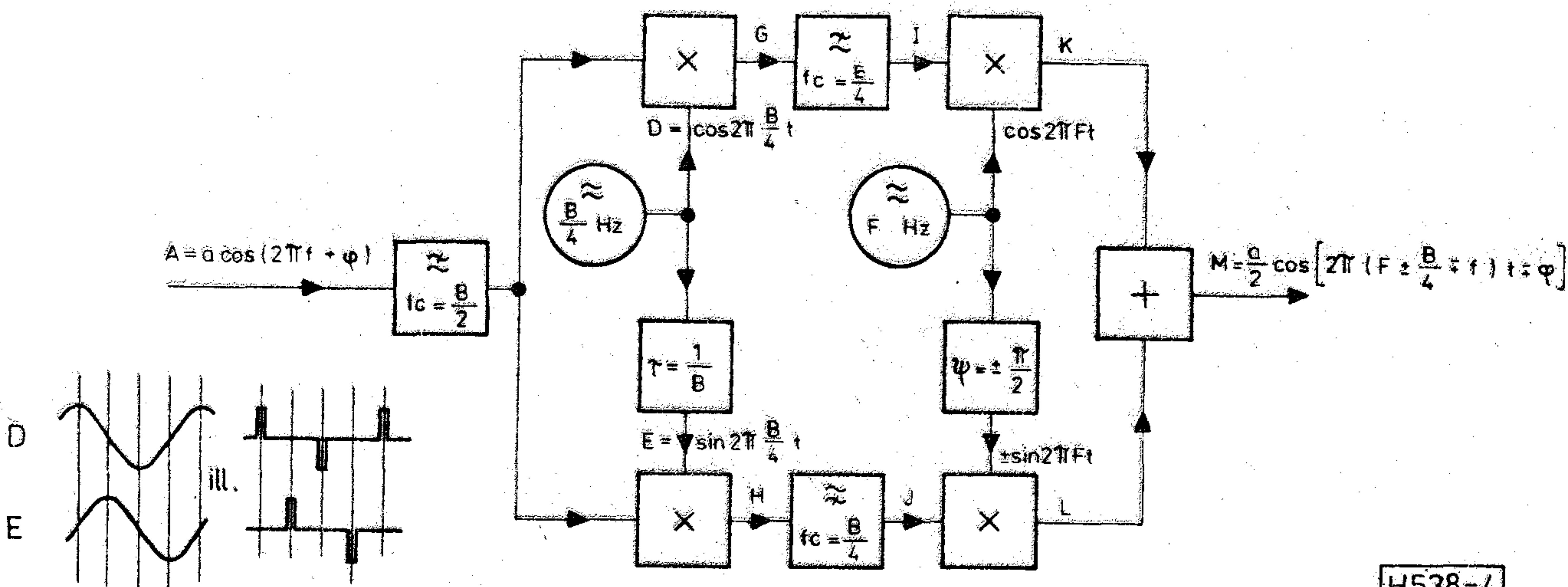
$$K = I \cdot \cos \Omega t = \frac{a}{4} \cos\left[\left(\Omega + \omega - \frac{\omega'}{4}\right)t + \varphi\right] +$$

$$+ \frac{a}{4} \cos\left[\left(\Omega - \omega + \frac{\omega'}{4}\right)t - \varphi\right],$$

$$L = \pm J \cdot \sin \Omega t = \pm \frac{a}{4} \cos\left[\left(\Omega + \omega - \frac{\omega'}{4}\right)t + \varphi\right] \pm$$

$$\pm \frac{a}{4} \cos\left[\left(\Omega - \omega + \frac{\omega'}{4}\right)t - \varphi\right],$$

$$M = \frac{a}{2} \cos\left[2\pi\left(F + \frac{B}{4} - f\right)t - \varphi\right] \text{ vagy}$$



4. ábra. Analóg SSB-SC modulátor tömbvázlata

H538-4.

$$\frac{a}{2} \cos[2\pi(F - \frac{B}{4} + f)t + \varphi]$$

Mint látható, a kimenő jel a ψ fázistolás előjelétől függően az $F+B/4$ képzeleti vivőhöz tartozó alsó oldalsáv vagy az $F-B/4$ képzeletbeli vivőhöz tartozó felső oldalsáv.

A kimenő jelet nem befolyásolná, ha a szinuszos D és E jelet keskeny, alternáló előjelű mintavevő impulzusokká "négyszögesítenénk", vagyis ha a

$$D = \sum_{i=0}^N C_i \cos 2\pi(2n+1) \frac{W}{4} t$$

és

$$E(t) = D(t - \frac{1}{W})$$

jeleket alkalmaznánk.

Az $f < \frac{B}{2}$ megszorítást $f < \frac{B}{2}$ -re

változtathatjuk, ha kikötjük, hogy $f = \frac{2}{2}$ esetén csak

$\varphi = n \frac{\pi}{2}$ lehet (a bemenő szűrő fázistolását nul-

lának feltételezve).

Legyen ezek után a bemenő jel egy B bitsebességű bináris jelfolyam, melynek fázisa olyan, hogy az aluláteresztő után az egyes impulzusok $\sin x/x$ alakú válaszfüggvényének maximuma essék egybe vagy a D vagy az E jel mintavevő impulzusával. Így a G jel a bináris jelfolyam minden pl. páros sorszámú impulzusát tartalmazza váltakozva invertált értékkel, a H jel a páratlan sorszámúakat ugyancsak váltakozva invertáltan. Ez viszont megegyezik a 2. ábra szerinti alapsávi átkódolással.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] CCIR Report Doc. 9/68-E
27 June 1972
Experimental results of PCM radio-relay system in the 400 MHz band
- [2] Frigyes - Szabó - Ványai: Digitális mikrohullámú átviteltechnika
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980

СОДЕРЖАНИЕ

INHALT

CONTENTS

Д-р. Барга, И.:

Адаптивные цифровые фильтры. I.
HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1990. №1.

В статье рассматриваются структуры и алгоритмы адаптивных фильтров и описываются характерные проблемы. Первая часть занимается алгоритмами для ФИР фильтров произвольными из уравнения Виенер-Хопф и из фильтра Калмана.

Д-р. Ференц, Ч.:

Задачи и проблемы моделирования в технике дистанционных сензоров
HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1990. №1.

В мировом масштабе, а также в нашей стране быстро развивается техника дистанционного восприятия, считая и моделирование различного назначения. В данной статье - в которой содержится доклад приглашенного по случаю открытия международной конференции по теме "Remote sensing is a tool for soil sciences" (1988) в секции моделирования - излагаем основные вопросы моделирования дистанционного восприятия. Это вероятно поможет работам по дистанционному восприятию, проведенным во многих местах также и в нашей стране. Статья демонстрирует классификацию, которая считается полезной вообще и также в технике связи, особенно в различных областях моделирования.

Лёринц, Э.:

Разновидность и споры в информационном обществе
HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1990. №1.

Ослабление противоречия в информационном обществе, перекрытие провала между развитыми странами, можно осуществить только путем решения глобальных проблем человечества. Противоречия массовой коммуникации и элит-культуры кажутся решаемыми только в самой обширной международной интеграции.

Банко, П.:

Испытание поликристалльных лент
HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1990. №1.

Для экономичного использования энергии солнца выдвигается необходимость в создании более дешевых полупроводников в сравнении с однокристаллом, применяемым в микроэлектронике. Автор статьи рассматривает требования, предъявляемые к основным материалам фотоячейки и излагает некоторые методы экономичного изготовления поликремния. Подчеркивает роль предельных значений размера частиц среди коэффициентов, воздействующих на КПД фотоячейки и в заключении приводит результаты проведенных исследований кремниевых лент - S - WEB методами TEM и SEM - EBIC.

Розвани, И.:

Возможность улучшения свойства передачи цифрового сигнала в полосе 400 МГц
HÍRADÁSTECHNIKA (ХИРАДАШТЕХНИКА, Будапешт) 1990. №1.

Статья занимается возможностью исключения создания многократности отношения отказана битов и показывает на преимущество однополосовой амплитудной модуляции.

dr. Varga, I.:

Adaptive digitale Filtering. I.

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. Nr 1.

Im Artikel wird ein Überblick von den Strukturen und Algorithmen der adaptiven Filter gegeben und es werden die typischen Probleme gezeigt. Der erste Teil befasst sich mit der optimalen linearen Filterung und es werden die Algorithmen für FIR Filter ausführlich behandelt, die aus der Wiener-Hopf Gleichung und aus dem Kalman-Filter abgeleitet sind.

Dr. Ferencz, Cs.:

Die Aufgaben und Probleme der Modellierung in der Fernführung

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. Nr 1.

Sowohl in der ganzen Welt, wie auch in Ungarn entwickelt sich sehr schnell die Fernführung und innerhalb deren, die Modellierung verschiedener Zwecke. In dieser Publikation – die den Eröffnungsvortrag der Modellierungssektion an der internationalen Konferenz von 1988 "Remote sensing is a tool for soil sciences" beinhaltet – möchten wir die Grundfragen der Modellierung für die Fernführung vorführen. Hoffentlich wird dies auch der in unserer Heimat in immer mehreren Stellen existierenden Fernführungsarbeiten Hilfe leisten. Es wird auch im allgemeinen und besonders in der Fernmeldetechnik in den verschiedenen Gebieten der Modellierung als nützlich beurteilte Klassifikation bekanntgemacht.

Lőrinc, E.:

Die Vorder- und Rückseite der Gesellschaft der Informationen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. Nr 1.

Die auflösung der Widersprüche der Gesellschaft der Informationen, die Überbrückung der Kluft zwischen den entwickelten und den sogenannten Entwicklungsländern kann nur durch die Lösung der Globalprobleme der ganzen Menschheit gelöst werden. Es scheint, dass sie Widersprüche der Massenkommunikation und der Elitekultur können nur in der weitreichenden internationalen Integration aufgelöst werden.

Vankó, P.:

Prüfung von Polykristall-Siliziumstreifen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. Nr 1.

Zur wirtschaftlicher Verwendung der Sonnenenergie ist die Benutzung von solchen Halbleitern benötigt, die viel billiger sind, als die in der Elektronik verwendeten Einzelkristalle. Der Verfasser dieses Artikels überblickt die Forderungen gegenüber den Grundmaterialien von Photozellen und zeigt uns einige wirtschaftlichen Herstellungsmethoden für Polysilizium vor. Es wird die Rolle der Korngrenzen von den Einflussfaktoren des Wirkungsgrads für die Photozellen hervorgehoben und es werden einige Prüfergebnisse der mit den TEM- und SEM-EBIC methoden an den S-WEB Siliziumstreifen durchgeführten Prüfungen bekanntgegeben.

Rozványi, I.:

Übertragungseigenschaften von Digitalsignalen im 400 MHz-Band

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. Nr 1.

Der Artikel beschäftigt sich mit den Möglichkeiten der Beseitigung der Vervielfachung des Bit-Fehler Verhältnisses und erörtert ausführlich die Vorteile der Einseitenband- Amplitudomodulation.

dr.Varga, I.:

Adaptive digital filtering. I.

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. No 1.

The paper gives an overview of the structures and algorithms of adaptive filters and presents the typical problems. Its first part deals with the optimal linear filtering and with the algorithms for FIR filters which are derived from the Wiener-Hopf equation and from the Kalman-filter.

Dr.Ferencz, Cs.:

Tasks and Problems of Modeling in the Remote Sensing

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. No 1.

Remote sensing and within this the modeling of different purposes are developing both all over the world and in Hungary. The basic questions of the remote sensing modeling are introduced in this article – which includes the opening invited lecture for the modeling section of international conference "Remote Sensing is a tool for soil sciences" (1988). It is hoped that it will help the remote sensing work carrying on more and more places in Hungary, but it also introduces a classification thought useful in the different areas of the modeling both in general and especially in the telecommunication.

Lőrinc, E.:

The Right and the Wrong Sides of the Information Society

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. No 1.

Releasing of the contradictions of the information society and bridging of the gap between the developing and the developed countries can be realised only by the solution of the global problems of the humanity. Contradictions of the elite-culture and of the mass communication are to be released only in an international integration of wery wide range.

Vankó, P.:

Investigation of polycrystalline silicon ribbons

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. No 1.

Profitable application of photovoltaic power requires much cheaper semiconductors than crystals used in the microelectronic industry. The required features of these materials are surveyed and some economical procedures to produce polysilicon crystals are introduced. The effect of grain boundaries on the efficiency of solar cells is stressed and results of TEM and SEM-EBIC investigations on S-WEB ribbons are published.

Rozványi, I.:

Possibilities for the improvement of the Digital Signal Transmission Characteristics in the 400 MHz Band

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1990. No 1.

The article deals with the possibilities of the elimination of the bit error-rate multiplication and refers to the advantages of the SSB-AM modulation.

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Tófalvi Gyula. Szerkesztőségünk címe: Budapest V., Kossuth Lajos tér 6-8. 1055. Telefon: 153-10-27. Kiadja a DELTA Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató leányvállalat. Budapest, Közraktár u. 4., 1093. Telefon: 117-52-00. Felelős kiadó: Budai Ferenc főigazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél, a Posta hírlapüzleteiben és a Hírlapelőfizetési és Lapellátási irodánál (HELIR, Budapest, József Nádor tér 1. 1900.) közvetlenül, vagy postautalványon, valamint átutalással a HELIR 215 - 96 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 180,-Ft, egész évre 360,-Ft. Egyes szám ára 30,-Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: a "KULTÚRA" Külkereskedelmi Vállalat, H - 1389 Budapest, posta-fiók 149. és a Magyar Média, 1392 Budapest, Pf. 279.86 - 253.

Ára: 30 Ft