

Mérőszolgálat a frekvenciák védelmében

Korszerű eljárások és módszerek a Nemzeti Hírközlési Hatóság gyakorlatában

TOMKA PÉTER

Nemzeti Hírközlési Hatóság

tomka@hif.hu

Kulcsszavak: frekvenciagazdálkodás, rádió-iránymérés, frekvencia-zavarforrások, védettségi szint, nemzetközi előírások

A frekvenciagazdálkodás hatósági eljárásait és követelményeit, a frekvenciák felosztásának és használatának szabályait, valamint az ellenőrzés módszereit jogszabályok rögzítik. A hírközlés védelme, a frekvenciahasználat hatékonysága és káros zavaroktól való mentessége, valamint az elektromágneses összeférhetőség (EMC) biztosítása céljából a Nemzeti Hírközlési Hatóság rádiómérő és rádió-zavarelhárító szolgálatot működtet. Az alábbiakban a szolgálat feladatairól, működési jellemzőiről, a méréseknek a frekvenciagazdálkodásban betöltött szerepéről és az alkalmazott mérési módszerekről kap tájékoztatást az olvasó.

1. Bevezetés

Amikor Marconi 1896-ban elkészítette az első drótnélküli távíró készülékét, amely a „kisugárzott villamosság” által, azaz az elektromágneses hullámok keltésével alkalmassá vált az információ továbbítására, valószínűleg már tudatában volt, hogy találmánya, gazdasági és társadalmi szempontból is rendkívüli jelentőségű. Képzeteiben minden bizonnyal már látta a hatalmas adó antennákat, melyek a világ különböző tájain sorra felépülnek majd az elektromágneses hullámok kisugárzásával, földrészek távolságait is leküzdik és a fejlődés mozgatóivá válnak. Bármekkora is volt azonban a drótnélküli hírközlés fejlődésébe vetett hite és bármilyen nagy látnoki képességekkel is rendelkezett valószínűleg nem tudta még elképzelni a napjainkra kifejlődött rádió-távközlési képességeket és sokszínűségeket. Azt azonban már neki is érzékelnie kellett, hogy a rádiózásban rejlő előnyöket és képességeket szigorú, világmértekekben betartandó szabályok mentén lehet csak hatékonyan kiaknázni.

A 20. század elején nagy lendülettel fejlődésnek indult rádiózás jelszavát, miszerint a cél a minél nagyobb teljesítményű adók létrehozásával a minél nagyobb vételi távolság elérése, ugyanis rövidesen módosítani kellett. Már a rádiófrekvencia használatának e korai szakaszában kiderült, hogy a frekvencia készlet véges és a teljesítmények korlátlanul nem növelhetők, mert az adók egymást zavarhatják. A vételkörzet hátára nem csak a venni kívánt adás teljesítményétől függ, befolyással van arra az azonos, vagy közeli frekvencián működő többi adás térerőssége is. Rá kellett jönnie a szakembereknek, hogy a széleskörű alkalmazás csak szabályok mentén született megegyezésekkel biztosítható. A rádiófrekvenciák használatának lehetősége az államok nemzeti érdeke, a használható frekvenciakészlet nemzeti kincs.

Napjainkban, amikor a rádióspektrum szinte teljes egészében kiosztásra került, még inkább érvényes a

fenti megállapítás. Olyan kincssel rendelkezünk, melynek felhasználásával gazdálkodnunk kell, értéke – a legszélesebb körű hozzáférés biztosítása mellett – védelemre szorul, amely csak a nemzetközi és nemzeti szabályok megalkotásával, betartásával lehetséges.

A frekvenciagazdálkodás nemzetközi alapelveit és a frekvenciák nemzetközi felosztását a Nemzetközi Távközlési Unió rádiós tagozata (ITU-R) által kiadott Rádió Szabályzat tartalmazza. A tagállamok nemzetközi szervezetekben, munkacsoportokban hangolják össze érdekeiket, alakítják ki eljárási rendjeiket, módszereiket.

A nemzetközi megállapodások és ajánlások figyelembe vételével a nemzeti követelményeket és eljárási rendet jogszabályok rögzítik. Hazánkban a frekvencia-készlet védelmét, a vétel zavartalanságát – a „Posta Zavarszűrő Szolgálat” életre hívásával – már 1938-ban törvény biztosította.

Napjainkban a 2003. évi C. törvény az elektronikus hírközlésről, többek között az alábbiakról rendelkezik:

„11.§ (3) A frekvenciagazdálkodó hatóságok kötelesek a frekvenciahasználattal kapcsolatos nemzeti, illetve nemzetközi megállapodásokon alapuló nemzetközi rádiómegfigyelést, ellenőrzést, felderítést, zavarvizsgálati és zavarelhárítási tevékenységet végezni, amelynek során jogosultak a rádióadások műszaki-forgalmi megfigyelésére és azok rögzítésére, jogszabályban meghatározott feltételek szerint.

(4) A hírközlés védelme, a frekvenciahasználat hatékonysága és káros zavaroktól való mentessége, valamint az elektromágneses összeférhetőség (EMC) biztosítása céljából a frekvenciagazdálkodó hatóságoknak saját rádiómérő és rádió-zavarelhárító szolgálatot kell fenntartaniuk.”

A rádiómérő és rádió-zavarelhárító szolgálat (továbbiakban: rádió-mérőszolgálat) működését már a korábbi jogszabályokban is hasonlóan rögzítették, ezért az 1998-ban kormányhatározatban közzétett Hírközlés Po-

litika irányelvei alapján a hírközlési hatóság átfogó fejlesztési koncepciót és tervet dolgozott ki a mérőszolgálat korszerűsítésére. A SIMON projekt keretében 2002. februárjától 2005. márciusáig terjedő időszakban a nemzetközi gyakorlat példáit követő, a nemzeti érdekeket kiszolgáló mérőszolgálati rendszer létrehozására kerül sor. A rendszer lényegi és meghatározó részét képező fix állomásokból álló, integrált spektrum-monitoring alrendszer a projekt első ütemében már elkészült, és 2003. szeptember 1-től üzemszerűen működik. Az ország 15 kiépített helyén telepített mérő-iránymeghatározó állomások a monitoring központból távkezelten vizsgálják a frekvenciahasználat paramétereit.

A következőkben a rádió-mérőszolgálati rendszer működési jellemzőiről, a méréseknek a frekvenciagazdálkodásban betöltött szerepéről, és az alkalmazott mérési módszerekről kap tájékoztatást az olvasó.

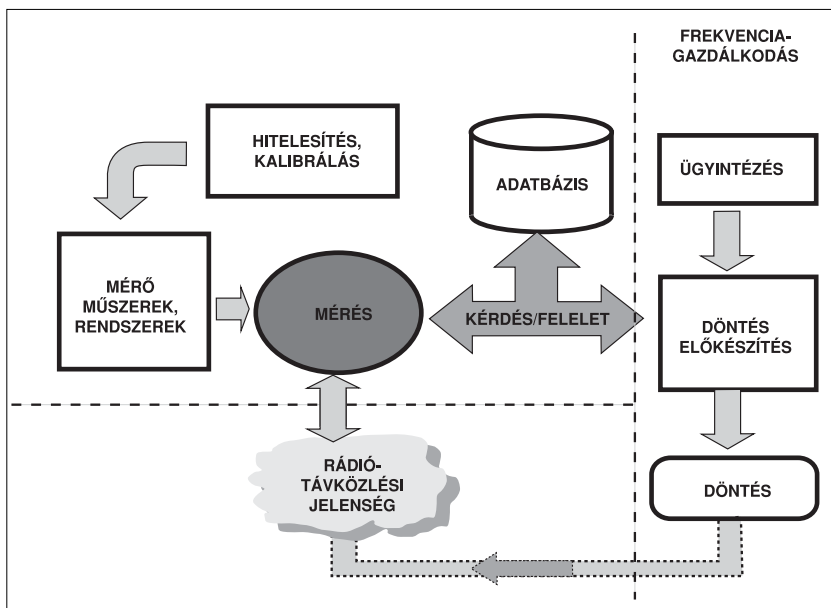
2. A mérés szerepe a frekvenciagazdálkodásban

A mérések a frekvenciagazdálkodáshoz általában kérdés-felelet formában kapcsolódnak. A méréssel mindig egy (feltett, vagy még fel nem tett, de feltehető) kérdésre keressük a választ. Hatékonyasága a válaszadás gyorsaságával egyenesen arányos, következésképpen akkor a leghatékonyabb, amikor a kérdés feltevésekor azonnal válaszol, vagy amikor a feltevés előtt már rendelkezik a válaszadásra alkalmas adatokkal. A frekvenciagazdálkodási kérdések köre mindig a frekvencia használatára vonatkozik, a tervezés, a szabályzás és az engedélyezés döntéshozatalát megelőző szakaszában.

A mérőszolgálati rendszernek tehát olyan felépítésűnek kell lennie, hogy a spektrum folyamatos mérése, monitorozása által rendelkezzen egy „élő adatbázissal”, amely az azonnali válaszadás forrása.

1. ábra

A mérés szerepe a frekvenciagazdálkodási folyamatban



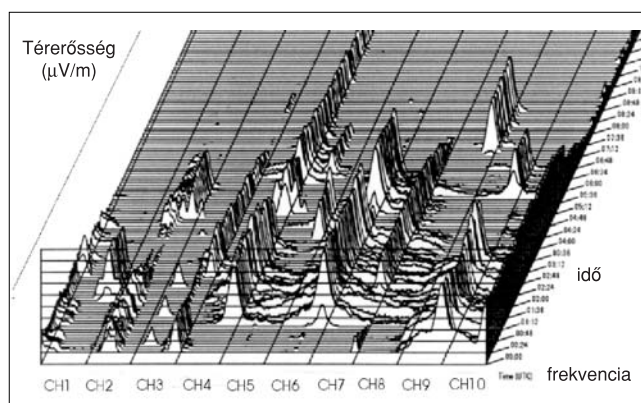
Az 1. ábra szemléletesen mutatja be az együttműködés rendszerét, melyben helyet kap a frekvenciagazdálkodási folyamathoz integrált mérési tevékenység a hitelesített mérőeszközökkel és az adatbázis. A rendszer adatokat szolgáltat a döntéshozó számára és visszacsatolást biztosít a mérési eredmények adatbázisba helyezésével. A folyamatos megfigyelés egyúttal hatékony felügyelet is, a megfelelőség biztosítása, a jogszabályoknak való érvényszerzés, a hatósági szándékok érvényesítése érdekében.

2.1. Mérési feladatok értelmezése

A frekvenciagazdálkodási cél elérésére és annak megállapítására, hogy ennek érdekében milyen mérési feladatok végrehajtására van szükség, vegyük szemügyre a 2. ábrát. Itt a valóság egy kiragadott időszakában (00.00 órától 11.00 óráig, 24 percenként vett mérési mintavétel alapján) láthatjuk tíz, egymás mellett kijelölt frekvencia (csatorna) kihasználását, mindazokkal a jellemzőkkel, melyek meghatározzák az alkalmazott rádió-távközlő berendezések működését és szerepet játszhatnak az összeférhetetlenség (zavartatás) létrejöttében.

2. ábra

„Pillanattfelvétel” a frekvenciák használatáról



A rádiófrekvenciás tartományt a Nemzetközi Rádiószabályzat (RR) és ezzel összhangban Magyarországon a Frekvenciasávok Nemzeti Felosztási Táblázata (FNFT) a 9 kHz–275 GHz közötti tartományban felosztotta. Az FNFT-ben meghatározzák a rádiószolgálatok fő jellemzőit, a felhasználható frekvenciasávokat (frekvenciákat), a rádióberendezések műszaki jellemzőit, a tervezési módszereket és a működési, üzemeltetési, forgalmi, valamint egyéb feltételeket.

A 2. ábrán bemutatott kép csak töredékét tudja demonstrálni az időben és térben folyamatosan változó, a felosztott frekvenciakészlet különböző értékein eltérő jellemzőkkel rendelkező rádiószolgálatok működési tulajdonságainak, de betekintést ad a tárgykör értelmezésébe.

Ha figyelembe vesszük még, hogy a rendeltetés-szerű használat mellett törvényszerűen előfordulnak véletlen vagy szándékos rendellenességek, az engedélyezettől eltérő vagy engedély nélküli sugárzások, amelyek zavartatásokhoz vezetnek, belátható, hogy milyen bonyolult szabályozási és felügyeleti feladatok megoldása szükséges a rádiótávközlés biztonságos működéséhez.

Vizsgáljuk meg közelebbről is a 2. ábrán látható mérési eredményeket. Ha az egyik csatorna kijelölt frekvenciáján működő rádióállomás kisugárzott térerősség-frekvencia karakterisztikáját külön megrajzoljuk, megállapíthatók a legfontosabb frekvenciagazdálkodási alapadatok, melyeket a 3. ábra szemléltet:

- az adás által elfoglalt sáv közepes frekvenciája, a kijelölt frekvenciától való eltérés,
- az adás által elfoglalt sáv szélesség,
- az adás kijelölt sávon kívüli, káros kisugárzásai (szomszédos csatornában, felharmonikus vagy egyéb mellék hullámokon),
- az adás vételi szintje, térerőssége, vagy teljesítménysűrűsége.

A frekvenciagazdálkodási kérdéskör azonban kiterjed a sáv forgalmi adataira is annak érdekében, hogy valamennyi felhasználási igény kielégíthető, a frekvenciahasználat pedig optimális legyen. A 2. ábra elemzésekor látható az is, hogy az egyes csatornák kihasználtsága az idő függvényében nem azonos. A 4. csatornában szinte folyamatos az adás, míg a 2.-ban, vagy a 8.-ban csekély a forgalom. Ha az adások térerősség-idő diagramját vizsgáljuk, akkor képet kaphatunk a kihasználtságról és a forgalmas időszakokról, eldönthető lesz egy esetleges új igény engedélyezése.

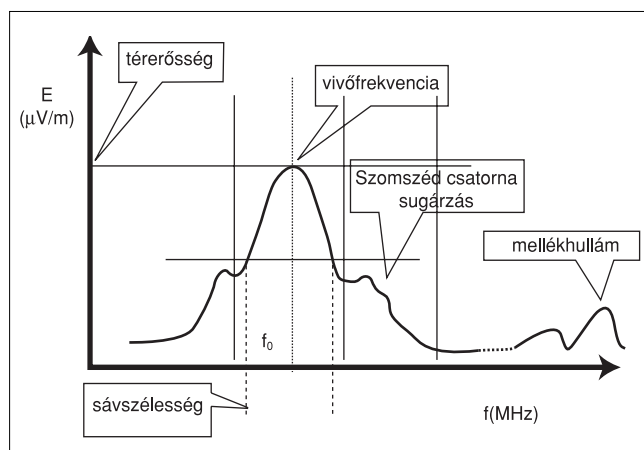
A frekvenciagazdálkodást szolgáló mérések feladata az adások által kisugárzott jelek folyamatos analízise, monitorozása. A mérési módszerek és felhasznált mérő eszközök és rendszerek – éppen ezért – elsősorban a térből vett jelek vizsgálatára hivatottak.

2.2. A rádió-mérőszolgálati rendszer

A frekvenciagazdálkodási hatóságok rádió-mérőszolgálati rendszereinek működési elvei nemzetközi szinten

3. ábra

Egy rádióadás térerősség-frekvencia karakterisztikája



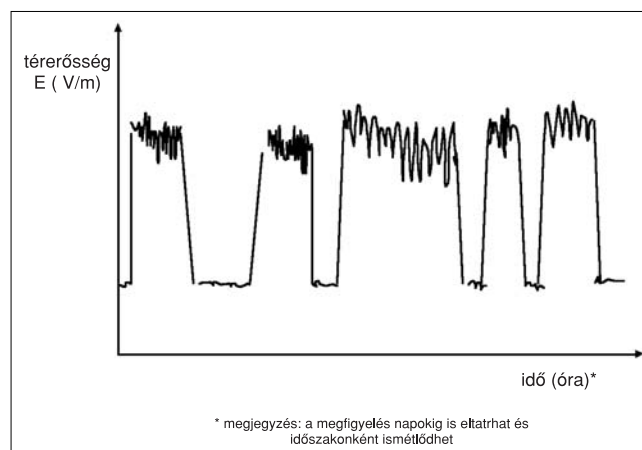
összehangoltak és szabályozottak. Míg az egyes országok államigazgatási felépítése, az eljáró hatóságok (igazgatások) szervezete akár sokban is különbözhet egymástól, addig mérőszolgálati eljárások szoros összhangot mutatnak és az alkalmazott módszerek lényegében megegyeznek egymással. Az államok és az aktívan működő nemzetközi szervezetek – mint az ITU, vagy a CEPT –, ugyanis fontosnak ítélik a frekvenciahasználat egységes szabályozását, ezen belül különösen az elektromágneses összeférhetőség biztosítását.

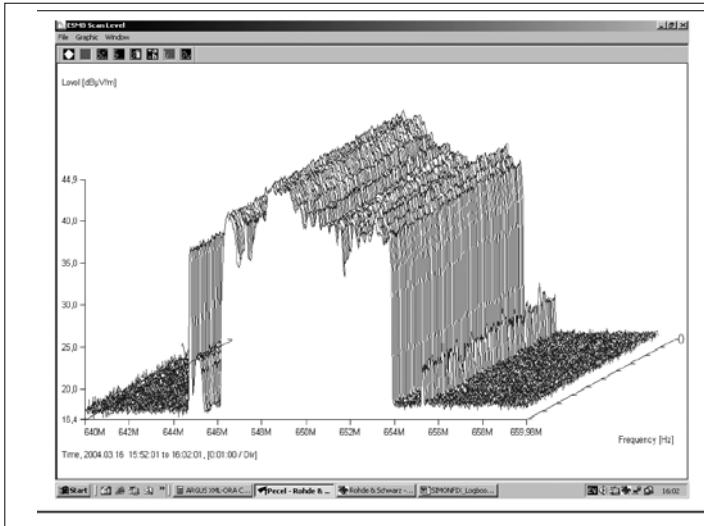
A rádió-mérőszolgálat nemzeti és nemzetközi feladatai, fő funkciói a következőkre terjednek ki:

- a) Felügyelnie kell az elektromágneses spektrum be rendezéseinek megfelelőségét a frekvenciahasználat és az EMC paraméterek vonatkozásában.
- b) Fel kell tárnia az elektromágneses spektrumban fellépő zavarokat, összeférhetetlenségi (EMC) problémákat és intézkednie kell azok elhárítására – jelentkezzenek akár helyi, regionális vagy világméretben –, annak érdekében, hogy a rádiószolgálatok és a rádióállomások rendeltetésüknek megfelelően működhessenek.
- c) Biztosítani kell a rádió és televízió vételi lehetőségeinek zavartalanságát.
- d) Megfigyelési adatokat kell szolgáltatnia a spektrumgazdálkodási eljárásokhoz, a tényleges frekvenciafelhasználásáról a sávok foglaltságára vonatkozó adatokkal, ellenőriznie kell továbbá a rádióállomások és szolgáltatások ellátottsági mutatóit valamint a kisugárzott jelek műszaki és üzemviteli jellemzőit.
- e) Fel kell derítenie az illegális, illetve az engedélyezettől eltérő berendezés-, vagy frekvenciahasználatot, és intézkednie kell annak megszüntetéséről.
- f) Az ellenőrzési és megfigyelési adatokból létre kell hoznia és naprakészen kell tartania egy mérési adatbázist, amely a frekvenciagazdálkodás számára mindenkor elérhető.
- g) A nemzetközi együttműködés keretében, értékelhető megfigyelési adatokkal kell szolgálnia az olyan programok számára, amelyeket az ITU-R, vagy a CEPT szervez abból a célból, hogy

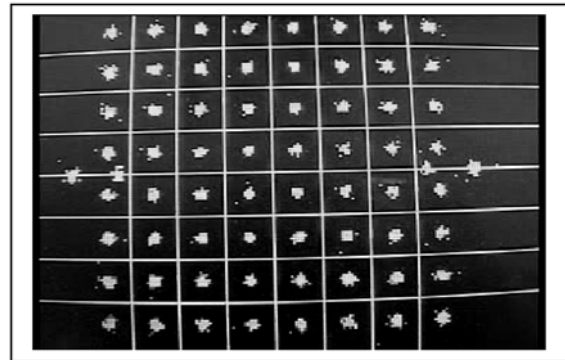
4. ábra

Egy rádióadás térerősség-idő karakterisztikája





5. ábra
DVB-T adás frekvencia-idő alapú
amplitúdó-karakterisztikája és a hozzá tartozó
fázis alapú konstellációs diagram



- jelentéseket készítsenek elő a rádiótávközlési konferenciák számára,
- segítséget nyújtsanak az igazgatásoknak a káros zavarok elhárításában,
- segítsék az igazgatásokat szabad frekvenciák megtalálásában.

A mérőszolgálati eljárások a méréstechnika speciális területét foglalják magukba.

Az alkalmazott módszerek, a térből vett jelek analízisére, a térerősség eloszlás vizsgálatára, a berendezéssparaméterek mérésére, a zavarforrások behatárolására, irány- és helymeghatározásra terjednek ki. Eszközei a fixen telepített, vagy gépjárműben elhelyezett mérőállomások, a laboratóriumi mérőrendszerek, valamint a speciális kézi műszerek lehetnek.

- **Rádió-megfigyelés (spektrum monitoring)**

A frekvenciahasználat paramétereinek ellenőrzésére szolgáló rádiómérő szolgálati eljárás, amelynél a hírközlési hatóság állandó helyre vagy mozgó gépjárműbe telepített mérőállomások segítségével, a térbe kisugárzott jelek folyamatos, vagy kellően hosszú ideig tartó vételével, megfigyeli és méri a rádióállomások, vagy nagyfrekvenciás jelforrások jellemzőit.

- **Rádióellenőrzés**

A frekvenciahasználat paramétereinek megállapítására szolgáló rádiómérő szolgálati eljárás, amelynél a hírközlési hatóság, az engedélyezett rádióállomások műszaki jellemzőit azok telephelyén, a rádióengedélynek való megfelelés ellenőrzése céljából méri.

- **Rádiófelderítés**

Ismeretlen eredetű, engedély nélküli, vagy zavart okozó rádióadások, vagy nagyfrekvenciás jelek forrásának behatárolására szolgáló rádiómérő szolgálati eljárás, amelynél a hírközlési hatóság állandó helyre, vagy mozgó gépjárműre telepített, illetve kézben hordozott iránymérő berendezések segítségével megállapítja a rádióállomások telepítési helyét.

- **Rádió-zavarvizsgálat**

Bejelentésre, vagy saját hatáskörben indított rádiómérő és zavarelhárító szolgálati tevékenység, amely-

nél a hírközlési hatóság a külső eredetű műsorvételi, vagy egyéb rádiótávközlési zavarok kivizsgálása és elhárítása, illetve az elektromágneses összeférhetőségi (EMC) problémák megoldása érdekében szükség szerint rádiómegfigyelést, rádióellenőrzést, és rádiófelderítést végez, különös tekintettel azokra a rádió berendezésekre és nagyfrekvenciás jelet vagy mellékhatást keltő készülékekre, amelyek potenciálisan a zavar, illetve az összeférhetetlenség okai lehetnek.

3. Mérési elvek és módszerek

3.1. Mérési elvek

A 2. ábra elemzéséből láthattuk, hogy a kisugárzott jelek paramétereinek elemzésére az idő és frekvencia tartományban egyaránt lehetőségünk van. A *frekvencia-tartománybeli megjelenítés* különösen alkalmas a frekvencia-pontosság és az elfoglalt sáv szélesség megállapítására, valamint az interferenciák, harmonikus termékek és véletlen zavarok megfigyelésére. Ezen kívül a különböző modulációk spektrumképe néha lehetővé teszi a modulációs típus azonosítását is. Az *időtartománybeli előállítás* alkalmas a csatorna foglaltsági mértékének meghatározására és segít megállapítani a térerősség időfüggését. Különösen a digitális rendszerek-nél segíti az időtartomány a burst, a semleges állapot ideje, vagy az elfoglalt időrések számának mérését.

A digitális adások vizsgálatánál azonban valamilyen jellemző megállapításához szükség van a *fázis-tartomány vizsgálatára* is.

A legtöbb digitális rádiótávközlési rendszer ugyanis fázis- (PSK, QPSK stb.), vagy egyszerre fázis- és amplitúdó-modulált (QAM). Ez utóbbiakat „konstellációs” diagrammon jelenítjük meg. A vektor hossza az origótól a konstellációs diagramm egyes pontjaiig képviseli a jel amplitúdóját, míg ezen vektor +X tengellyel bezárt szöge adja a fázist. A jellel fázisban lévő összetevő (az I-jel) az X-tengely mentén van feltüntetve, míg a kvadratura összetevő (Q-jel) az Y-tengelyen. A jel fázistartományának vizsgálatára vektoranalizátorokat használnak.

Egy tipikus megjelenítéshez az analízátort szinkronizálni kell a jellel. Ennek biztosítására a jel típusát, vagy legalábbis a szimbólum arányát ismerni kell.

Az egyszerű esetekben, amikor a modulációs mód és a kódoló rendszer ismert, az analízist valós időben lehet elvégezni. A modern vektoranalizátorok képesek a jel bináris szekvenciájának vagy a dekódolt információ karaktereinek az előállítására. Azonban a bonyolultabb modulációs módok esetében és akkor, ha sem a modulációs mód, sem pedig a kódolás nem ismert a vétel időpontjában, akkor a vétel után jelfeldolgozásra van szükség. Az 5. ábrán (lásd előző oldalt, fent) arra láthatunk példát, hogy bizonyos esetekben, különösen a digitális adások elemzésénél, a három leírási mód együttes alkalmazása adhat csak egyértelmű képet a sugárzási jellemzőkről.

3.2. Frekvenciamérés

A hagyományos frekvenciamérés során egy ismeretlen frekvenciát egy ismert referencia-frekvenciával hasonlítunk össze. A referencia-frekvencia származhat a mérőműszerbe épített referencia oszcillátorból, de a pontosság növelése érdekében kívánatos külső frekvencia alapot használni. (Ilyen megoldás lehet például a rubidium etalon, vagy az egyre inkább elterjedő GPS szinkronizálású referencia.)

1. táblázat

Frekvenciamérési módszerek alkalmazási lehetősége különböző adásmódok esetében

ADÁSMÓDOK	BF	OF	DL	FC	FD	PR	SSA	IFM	FFT
Folyamatos vivő (N0N)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Morse táviró (A1x)	X	X	X		X		X	X	X
Morse táviró (A2x; H2x)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Radiotáviró (F1B; F7B)	X	X	X		X		X	X	X
Facsimile (F1C)	X	X	X		X		X	X	X
Műsorszórás és rádiótelefon (A3E)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Műsorszórás és rádiótelefon (H3E; R3E; B3E)	X	X	X		X	X	X	X	X
Műsorszórás és rádiótelefon (F3E)				X	X		X	X	X
Rádiótelefon (J3E)							X		X
Digitális műsorszórás (COFDM)							X		X
Analog televízió műsorszórás (C3F)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Radirelé rendszer (F8E)				X			X	X	X
Radar (P0N)					X		X	X	X
Cordless telefon (F1D, F2x, F3E, G3E)							X	X	X
Pont-Multipont TDMA rendszer							X	X	X
GSM rendszer							X	X	X

2. táblázat A frekvenciamérés minimális követelményei

jellemző	minimális követelmény
A kijelzés felbontása	< 1 Hz
Mérési sávzélesség maximuma	≥ 250 kHz
A frekvencia mérés pontossága CW jelen (ha a mérési időtartam: 200 ms)	≤ 1 Hz ± (vételi frekvenciának és a referencia alap pontosságának szorzata), vagy ≤ 1 Hz, rubidium, vagy GPS szinkronizálású frekvencia referenciával
A frekvencia mérés pontossága A3E jelen (ha a mérési időtartam 200 ms)	≤ 1.5 Hz ± (vételi frekvenciának és a referencia alap pontosságának szorzata), vagy ≤ 1.5 Hz, rubidium, vagy GPS szinkronizálású frekvencia referenciával
A frekvencia mérés pontossága F3E jelen (ha a mérési időtartam 200 ms)	≤ (2 Hz * Δf/fm) ± (vételi frekvenciának és a referencia alap pontosságának szorzata), vagy ≤ (2 Hz * Δf/fm), rubidium, vagy GPS szinkronizálású frekvencia referenciával

Megjegyzés: Δf/fm = a frekvencia löket és a moduláló frekvencia hányadosa

A hagyományos frekvencia mérési módszerek:

- offset frekvenciás,
- Lissajous-görbés,
- frekvencia számláló módszer,
- frekvencia diszkriminátor módszer,
- fázis feljegyző módszer,
- spektrum analízáló módszer.

DSP alapú módszerek:

- pillanatnyi frekvencia mérési módszer (IFM),
- gyors Fourier-transzformációs (FFT) módszer.

A DSP, azaz a digitális jelfeldolgozás technológiája, valamint az ezeket alkalmazó IFM és FFT analízátorok jelentős változásokat eredményeztek. A rádió-mérőszolgáltatási gyakorlatban a frekvenciamérést általában, a vizsgált adótól távol lévő monitor állomáson elhelyezett távkezelte vevő segítségével végzik. A mérési módszer megválasztásánál figyelembe kell venni az adásmódok jellemzőit és azt a tényt, hogy a vizsgált adó üzemszerűen működik és modulációja folyamatosan változik.

Az 1. táblázat a leggyakoribb adásmódok méréséhez ajánlott módszereket, a 2. táblázat pedig a minimális követelményeket rögzíti.

A sweep-hangolású spektrumanalizátoros módszer, tipikus példája a frekvencia alapú jelvizsgálatnak. Ennél egy spektrumanalizátorral mérjük a jelet, melynek frekvenciáját egy frekvencia-standardból származtatjuk. Ez a módszer főleg digitális modulált jelek (példákon a DVB-T adás) frekvenciájának meghatározására használható.

A vivőfrekvencia közepes értéke a jel elfoglalt sávzélességének alsó- és felső frekvencia értékeiből származtatható, melyet természetesen a korszerű mérőeszköz közvetlenül kijelez.

A pillanatnyi frekvenciát mérő módszer (IFM) digitális vevőket használ és jelfeldolgozó (DSP) modulokat alkalmaz. A monitoring állomáson igen pontosan és gyorsan lehet az adások frekvenciáit megállapítani. Lehetőség van egy másodpercnél rövidebb (pl. 200 ms) idő alatt mérési eredményt előállítani. A mérési idő meghatározásánál a következőket kell figyelembe venni:

- TDMA adások esetén a minta méret legyen kompatibilis az elemi burstökkel, azaz például 500 μs a GSM esetén, ahol az elemi burst 577 μs. Szinkronizálást is kell használni, elkerülendő a különböző jelek burstjeinek átlapolását.

- A minta-méreteknak kompatibilisnek kell lenniük a monitor-állomásokon végzett más mérésekkel is. A digitális jelfeldolgozást (DSP) előnyösen lehet használni arra is, hogy a jel egyetlen mintáján mérjünk meg mindent, ez alapvető igény akkor, amikor burst-öt és TDMA jeleket mérünk. A jelminták lehetővé kell, hogy tegyék az off-line analízist egy vektor-analizátor segítségével.
- A minta-méreteket úgy kell tervezni, hogy biztosítsák az adók megfelelőség-mérésénél a gyors kiértékelést.

Rövid mintákat kell választani,

- hogy a pillanatnyi közepes frekvencia meghatározható legyen;
- hogy elkerüljük a középfrekvencia driftjének átlagolódását, a rövid minta és a gyakori visszatérés egy csatornára lehetővé teszi az adó stabilitásának vizsgálatát is;
- hogy ne kelljen ésszerűtlenül nagy méretű memóriát használni. A tradicionális szélessávú analóg jelek (pl. tévé) mérésénél keskenysávú szűrőt használunk a vivőfrekvencián és a segédvívőkön.

Nagyobb jelminták használhatók

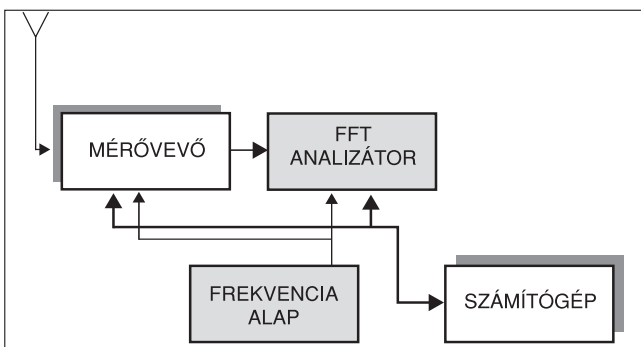
- információvesztés nélkül a pillanatnyi közepes frekvencia extrém értékeinél, ha algoritmusokat alkalmazunk a csúcs- és átlagértékek előállítására;
- a zaj következtében fellépő hibák minimalizálására, különösen, ha olyan jeleket mérünk, melyek közel vannak a zajküszöbhez.

A fenti megszorításokat figyelembe véve a következő mintaértékek ajánlhatók:

- **10 ms:** lassú TDMA jelekhez
- **200 ms:** gyors rutin-mérésekhez, a szokásos jeleken (kivéve a TDMA-t)
- **500 µs:** rövid TDMA jelekhez, mint pl. a GSM,
- **1 sec:** közepes sebességű rutin mérésekhez, szokásos jeleken (kivéve a TDMA-t)

Az FFT analízátorral a szintézeres hangolású vevő KF-kimenetén mérhetünk. A vevő KF-frekvenciája az FFT analízátor működési sávjába kell, hogy essen. A vevőt és az FFT analízátort ugyanarról a frekvencia-alapról kell meghajtani (6. ábra). A korszerű mérővevőkben az összeállítás már integrálva van, a mérés automatikusan végrehajtható.

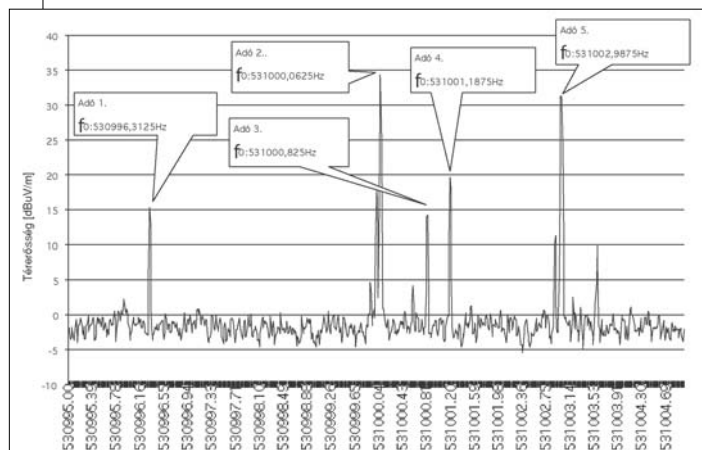
6. ábra Frekvenciamérés FFT módszerrel



Az FFT-alapú mérőrendszer előnyei:

- nagy frekvencia-felbontás és pontosság,
- a közös-csatornás jelek frekvenciáinak mérési lehetősége,
- a frekvenciasávok könnyű hangolása (számítógép terminál segítségével),
- nagy flexibilitás,
- a spektrum-adatok digitális tárolása,
- nagy megbízhatóság és reprodukálhatóság.

A 7. ábra jól szemlélteti az FFT mérési módszer előnyeit. A módszer alkalmazásával lehetséges az azonos csatornában egymástól igen kis (néhány tízed Hz) távolságra működő két, vagy több adó közepes frekvenciájának egyidejű mérése.



7. ábra FFT alapú monitoring mérési eredmény (azonos csatornás zavar megállapítása középhullámú műsorszóró csatornában, átfogás: 9,69 Hz)

3.3. A térerősség mérése

A térerősség általában használt mértékegysége a V/m. A szabad tér hullám impedanciájának ($Z_0 = 377 \Omega$) figyelembevételével, a mágneses tér erőssége (H) az elektromos térerősség mért értékének ismeretében kiszámítható:

$$H \text{ (A/m)} = E \text{ (V/m)} / Z \text{ (377 } \Omega\text{)}.$$

A továbbiakban a térerősség fogalmát mindig az elektromos összetevőre vonatkoztatjuk.

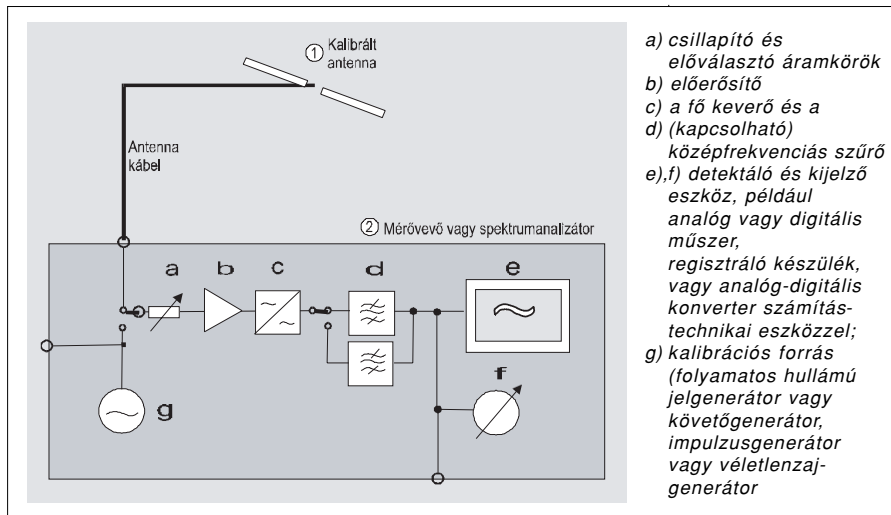
Mivel a vételi ponton megfelelően elhelyezett vevő-antenna kapcsain, az adó által kisugárzott térerősséggel arányos feszültség jelenik meg, és az arányosság mértékét az antenna tényező (K_A) határozza meg, melynek ismeretében a kapocsfeszültség (V_0) mérésével a térerősség a következő összefüggés alapján meghatározható:

$$E \text{ (}\mu\text{V/m)} = K_A V_0 \text{ (}\mu\text{V)}.$$

A térmérő rendszer (8. ábra) elemei egyetlen vagy több külön készülékben lehetnek. Gyakran használnak mikroprocesszoros rendszert, mely vezérli a vevőt, a kalibráló eszközt, a nyomtatókat és rajzgépeket, továbbá képes a mérési eredményeket kijelezni és tárolni.

A méréskor általános gyakorlat a logaritmikus mértékegység, a dB (legtöbbször 1 $\mu\text{V/m}$ -hez viszonyított) használata:

$$e \text{ (dB}\mu\text{V/m)} = 20 \log E \text{ (}\mu\text{V/m)}.$$



8. ábra Térmérő rendszer összeállítása

Az antenna-tényező meghatározása térerősség mérés esetén:

Valamely vevőantenna K_a antenna-tényezője a síkhullám E villamos térerősségének és az antenna névleges terhelő ellenállással R_N (rendszerint 50Ω) lezárt kapcsain mérhető V_o feszültségnek a hányadosa

$$K_a = E/V_o \quad (1/m).$$

Az antenna-tényező helyett gyakran az antennának izotróp antennára vonatkoztatott G nyereségét adják meg. Az összefüggés a G izotrópikus nyereség és a K_a antennatényező között a következőképpen írható le:

$$K_a = \frac{1}{\lambda \sqrt{G}} \cdot \sqrt{\frac{4\pi Z_0}{R_N}} = \frac{9,73}{\lambda \sqrt{G}} = \frac{f_r}{30,81 \sqrt{G}}$$

ahol $Z_0 = 377 \Omega$ és $R_N = 50 \Omega$.

$f_r = f(\text{MHz})/1 \text{ MHz}$, f = vételi frekvencia MHz-ben

Mivel a feszültség és a térerősség értékeit rendszerint $\text{dB}(\mu\text{V})$ és $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ egységekben fejezik ki, mint szinteket, ezért az antenna-tényezőnek és az antenna-nyereségnek is használatos a logaritmikus formája, mely az alábbi összefüggésekkel határozható meg:

$$k_a = 20 \log K_a \quad \text{és} \quad g = 10 \log G$$

ahol k_a az antenna-tényező és g az antenna nyereség dB-ben meghatározott értéke. Ennek figyelembe vételével:

$$k_a = -29,77 \text{ dB} - g + 20 \log f_r$$

értékűnek adódik, így a térerősség e szintje az antenna kimenőfeszültségének v_o szintjéből a következő képlettel számítható:

$$e = v_o + k_a.$$

Mivel k_a rendszerint nem tartalmazza az antenna és a mérővevő közötti kábel okozta a_c csillapítást, ezért a képletet még ki kell egészíteni (és ebben az esetben v_o a mérővevő bemeneténél lévő feszültség szintjét jelenti):

$$e = v_o + k_a + a_c.$$

Példa: ha egy antennának 100 MHz frekvencián 6,5 dB a nyeresége és 3,7 dB az antenna-tényezője; akkor ha a bemenő feszültség v_o szintje 33,4 dB(μV) és a kábel a_c csillapítása 1,1 dB, a térerősség 38,2 dB($\mu\text{V/m}$).

A térerősség eloszlása hely és idő szerinti szórást mutat:

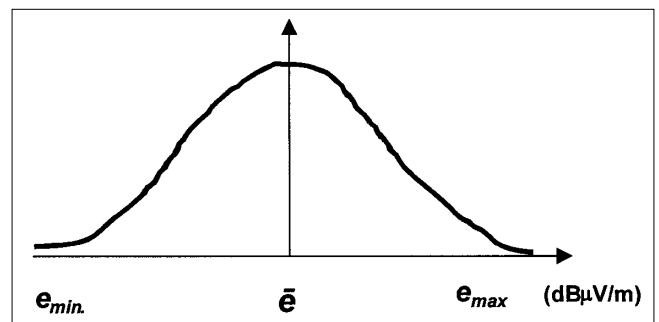
$$\sigma_{L,t} = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_t^2} \quad [\text{dB}]$$

ahol:

σ_L = a térerősség hely szerinti szórása (dB)

σ_t = a térerősség idő szerinti szórása (dB)

Kellően nagy számú mérés esetén alátámasztható, hogy a térerősség log-normál eloszlású, sűrűsége a 9. ábrán bemutatott görbe mentén rendezhetők. Annak érdekében, hogy nagy megbízhatósággal lehessen becsülni a térerősség várható értékét az adótól meghatározott távolságban levő ponton célszerű megismerni a térerősség helyszerinti eloszlását. Ennek érdekében egy körülhatárolt terület több pontján kell méréseket végezni. A területen a térerősség dB-ben meghatározott értékei normál eloszlást mutatnak.



9. ábra A térerősség log-normál eloszlása

Ennek megfelelően egy behatárolt területen végzett mérések [dB]-ben megadott eredményei a normális eloszlású hely és idő valószínűségi változó statisztikai mintáinak tekinthetők. Kellő számú mérés (mintavétel) esetén kívánt biztonsággal lehet megbecsülni a térerősség várható értékét:

$$\bar{e} - u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq e_v \leq \bar{e} + u_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Az eloszlásfüggvényből meghatározható a térerősség várható értéke, melyet a következő véletlen helyezett tartomány fed le:

$$N(\bar{e}; \sigma_{L,t}) \quad \text{ahol:}$$

e_v = a térerősség várható értéke (dB $\mu\text{V/m}$),

$\bar{e}$ = térerősség minták számtani közepe (dB $\mu\text{V/m}$),

δ = a térerősség szórása (dB),

n = a térerősség minták száma (db.),

u_p = a Student-eloszlás (1-p)100%-os megbízhatósági szintjéhez tartozó valószínűségi változó.

Jel típusa	Min. sávszélesség (kHz)	Detektálási mód
Kétoldalsávós AM	9 vagy 10	lineáris átlagolás
Egyoldalsávós AM	2,4	csúcsérték
FM műsorszóró	120	lineáris (vagy logaritmikus) átlagolás
analógTV vivő	200	csúcs
GSM	300	interferenciás esetekben: csúcs, fedettségi esetekben: átlag
UMTS	3840	rms
DVBT	8000	rms
DAB	1500	rms
TETRA	30	rms
FM rádiótelefon csatornaosztás:		
-12,5 kHz	7,5	lineáris (vagy log) átlag
-20,0 kHz	12	lineáris (vagy log.) átlag
-25,0 kHz	12	lineáris (vagy log.) átlag

egyenként az adás teljes átlagteljesítményének adott $\beta/2$ százalék értékével egyenlők" (ezt a meghatározást szokták $\beta\%$ -os sávszélességnek nevezni).

Ha értékét másképpen nem specifikálják, a $\beta/2=0,5\%$ -ra kell venni (ebben az esetben az elfoglalt sávszélesség megegyezik a kisugárzott átlagteljesítmény 99%-ával):

Az ITU-R SM 328 Ajánlás meghatároz egy úgynevezett „X dB sávszélesség” fogalmat is, mely szerint:

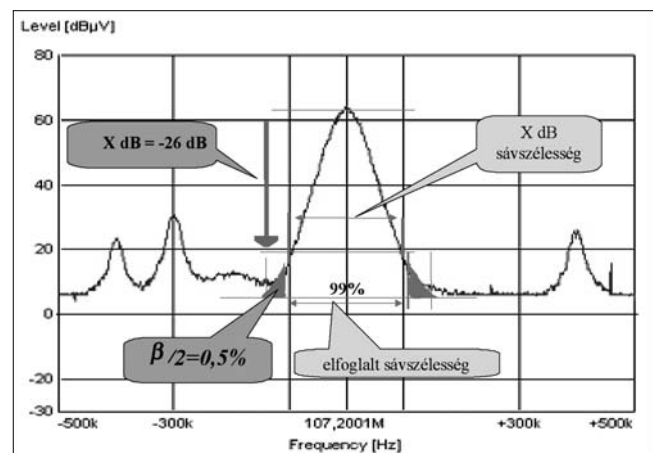
„Egy adás elfoglalt sávszélessége, azon frekvenciasáv szélessége, mely alatt, vagy felett bármely diszkrét spektrum-komponens, vagy folyamatos spektrális teljesítmény-sűrűség legalább x dB-el egy előre meghatározott 0 dB-s referenciaszint alatt van.”

Ha másképpen nem specifikálják, az x értékét -26dB-re kell venni.

Az „X dB sávszélesség” praktikus, gyors módszer, de az elfoglalt sávszélesség meghatározására, csak jól meghatározott körülmények (azaz emissziós osztály és modulációs jellemzők) esetén használható. Vannak olyan esetek, (például bizonyos digitális modulációknál) amikor az „X dB-es sávszélesség” nem jól határozza meg az elfoglalt sávszélességet. Ezért ezt a módszert közelítő, vagy gyors módszernek tekinthetjük, amely megközelítő eredményt nyújt az ellenőrzés számára az adó engedélyszerű működéséről.

Spektrumanalizátoros mérési módszer segítségével az X dB-es sávszélesség meghatározása aránylag egyszerűen és könnyen elvégezhető. Az adás spektrum képének megjelenítése után a közepes frekvencia jel-maximumát véve alapul megállapítható az a két frekvencia érték, ahol a teljesítmény 26 dB-el kisebb. A sávszélesség a két frekvencia különbségéből adódik.

10. ábra Az elfoglalt sávszélesség meghatározása



3. táblázat A térerősség méréséhez ajánlott beállítások

Mérési beállítások és pontosság szempontjából különösen fontos a mérési sávszélesség és a detektálási mód helyes beállítása. A különböző típusú jeleknél megkövetelt értékeket a 3. táblázat foglalja össze.

Az ITU-R SM.378 Ajánlás szerint a térerő méréseknél elvárható pontosság a következő:

30 MHz és alatta: ± 2

30 MHz felett: ± 3

3.4. Sávszélesség mérése

A különböző rádiókommunikációs szolgálatok működésük során eltérő frekvenciájú spektrum-összetevőket eredményezhetnek.

Az-információ továbbítás minőségének megtartása érdekében a vevő oldalon ugyanazt a spektrumot kell adott pontossággal reprodukálni, mint amit az adó kisugárzott. Mennél nagyobb a különbség az emittált és a vételi oldalon helyreállított spektrum között, annál alacsonyabb az elérhető szolgáltatásminőség.

Fontos tudni, hogy nem csak a hasznos jelek hoznak létre spektrum-komponenseket, hanem más, nemkívánatos jelek is megjelennek, amelyek rontják az eredeti spektrum visszaállíthatóságának az esélyét. A minőségi követelmények fizikai mennyiségekkel történő meghatározása érdekében a sávszélességet megfelelően definiálni kell.

A Nemzetközi Rádiószabályzat (RR) S1, No.S1.152 cikkelye szerint a szükséges sávszélesség jelenleg használatos definíciója a következő:

„Egy adott osztályú emisszió számára éppen szükséges sávszélesség, amely elegendő az információ olyan sebességű továbbítására, amely biztosítja a kívánt minőséget, specifikált körülmények mellett”.

Az RR S1, No.S1.153 cikkelyében rögzítésre került az elfoglalt sávszélesség ma használatos definíciója, amely a következő:

„Egy adás elfoglalt sávszélessége oly módon meghatározott frekvenciasáv szélessége, melynél az alsó frekvenciahatár alatt és felső frekvenciahatár felett kisugárzott átlagteljesítmények

Az elfoglalt sávszélesség definíció szerinti ($\beta\%$ -os) meghatározására egy olyan spektrum analízátor alkalmas, mely digitálisan vezérelhető szintérezert tartalmaz. A spektrumanalízátor letapogatja a spektrumot meghatározott frekvencia-lépésekben, és a mért értékeket értékelve megállapítja a 99%-os teljesítményhez tartozó frekvenciahatárokat. Mivel a konvencionális spektrumanalízátorok a spektrumot szekvenciálisan és nem valós időben tapogatják le, tanácsos több letapogatási ciklust is elvégeztetni, max.-hold üzemmódban.

A DSP alapú mérési módszer a digitális jelfeldolgozáson (DSP) alapul. Ez a technológia lehetővé teszi az elfoglalt sávszélességnek a RR No. S1.153 szerinti meghatározását. A $\beta\%$ módszer szerinti sávszélesség mérés független a jel modulációjától. Ezért az adások üzemi ellenőrzésére, különösen a digitálisan modulált jelek mérésére alkalmas. A digitális jelfeldolgozási technikák felhasználhatók a $\beta/2$ számítására a teljesítmény spektrális sűrűségéből (PSD). Először a PSD zajküszöbét kell megállapítani egy, vagy több DSP algoritmus segítségével. A PSD integrálásának futó értékét számítják és az adatokat interpolálva keresik az f_1 frekvenciát, ahol az integrált teljesítmény egyenlő $P_{\beta/2}$ -vel. Ezt megismételve a spektrum másik végétől f_2 is meghatározható ($P_{\beta/2}$). A sávszélesség ezek után: $f_2 - f_1$.

A DSP alapú FFT mérési módszer a gyors Fourier-transzformációt és a digitális jelfeldolgozást együttesen alkalmazva méri egy adás elfoglalt sávszélességét a formális definíció alapján azokban az esetekben, amikor a vevőkimeneten elegendően jó a jel-zaj viszony. Az ilyen közvetlen módszerek előnyösebbek az x dB-es módszereknél, melyek függenek a használt modulációtól és magától a moduláló jeltől. A DSP alapú FFT-t alkalmazó teljesítmény-arányt ($\beta\%$) mérő módszerek nem igénylik a modulációs paraméterek részletes ismeretét és képesek a zajból kiemelkedő jelspektrum-részek interpretálására is. Tehát ez a módszer sokkal kevésbé érzékeny a választott ablakra, mint az x dB értékek. A jel-zaj viszony, ha nem elégséges a 99%-os teljesítmény-sávszélesség megállapításához, javítható hosszabb integrációs idővel, finomabb feloldású FFT-vel. A 99%-os teljesítménymérésnél sok jelre pontos eredmény kapható már 15-20 dB jel-zaj viszony mellett is. (Itt a jel-zaj viszony definíciója a jelcsúcs és a zajküszöb távolsága).

3.5. Csatornafoglaltság mérése

A csatornafoglaltsági vizsgálatoknál az idő függvényében annak a felderítését végezzük, hogy különböző – kiválasztott – szélességű frekvenciasávokban találunk-e detektálható, feljegyezhető jelet a zajküszöb, vagy egy előre megadott szint felett, és arra a kérdésre keresünk választ, hogy milyen mértékű az egyes frekvenciák kihasználtsága.

A monitoring technika, egyúttal a spektrum ellenőrzésére, a spektrum tényleges használatára vonatkozó adatokat is szolgáltat. A 2. ábrán is egy ilyen vizsgálat eredményén szemléltethetjük a frekvenciahasználat jellemzőit. Az egyidejű iránymérés segítségével történő letapogatás lehetővé teszi az adók szerinti foglaltság feljegyzését és lehetőség van más paraméterek, mint pl. modulációs típusok és azonosítási információk megállapítására is. A vizsgálati eredmények többféle módon megjeleníthetők és statisztikai elemzésekre is alkalmasak. A 11. ábrán a megjelenítés formáira találunk példát.

3.6. Rádió-iránymérés

A rádió-iránymérés célja egy tetszőleges forrású elektromágneses sugárzás irányvonalának (line of bearing – LOB) meghatározása a rádióhullámok segítségével. A rádió-iránymérés a föld felszínén elhelyezkedő rádióadók vagy rádiózavar források irányának meghatározásához használható.

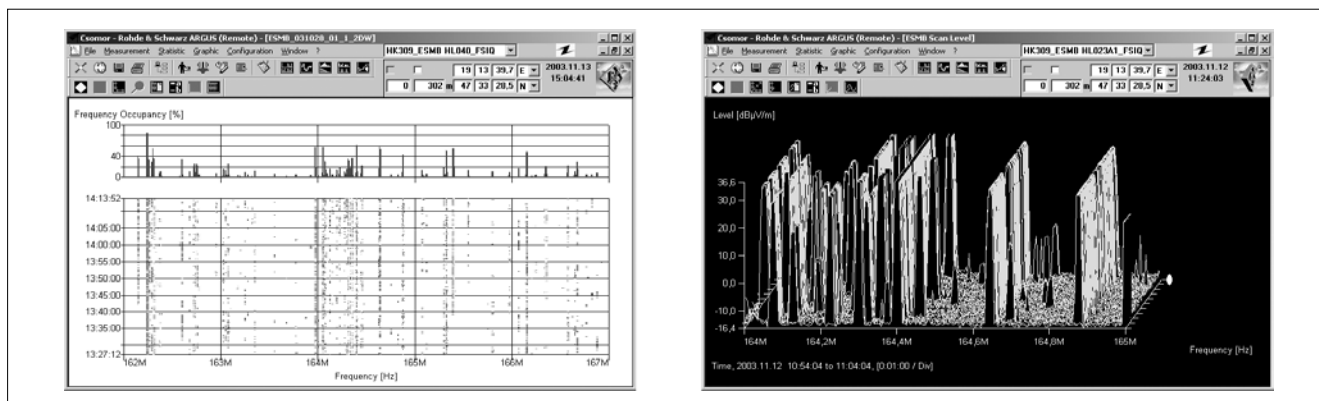
A rádió-iránymérő az elektromágneses hullámok beérkezési irányának vagy azimutjának egy referencia irányhoz vonatkoztatott meghatározására szolgáló eszköz. A jel irányának meghatározásához, az antennanyílásnál fellépő különbségi jelkésletetést használják fel. Minden iránymérőben található egy antennarendszer, egy vevőberendezés és egy processzor.

A legmodernebb iránymérő technikák alapvetően a következő három csoportra oszthatók:

- amplitúdó-érzékeny iránymérés,
- fázis-érzékeny iránymérés,
- kombinált fázis- és amplitúdó-érzékeny korrelatív vektor-iránymérés és igen nagy felbontású iránymérés.

Az információgyűjtés módja lehet párhuzamos vagy soros:

11. ábra Sávfoglaltsági vizsgálatok eredményének ábrázolása



- párhuzamos, akkor, ha a mérés csaknem azonnal megtörténik, a vételi csatornák száma megegyezik antenna szolgáltatta jelek számával,
- soros, amikor is az eredmény csak a teljes ciklus lefutása (beleértve az antennajelek fázisa és/vagy amplitúdójának súlyozását követő RF kapcsolásokat is) után áll rendelkezésre.

A leggyakrabban használt iránymérési technikák az alábbiak:

1. Forgó antenna-karakterisztika
2. Wullenweber
3. Adcock/Watson-Watt
4. Doppler/pszeudo Doppler
5. Interferométer
6. Korrelációs

Forgó antenna-karakterisztikájú rendszerek

A legegyszerűbb iránymérésre használt eljárás, amikor a beesési irány érzékelésénél az antenna iránykarakterisztika jellegzetességeit alkalmazzák. A mechanikusan forgó irányantennára alapozó DF rendszereket már a századfordulón is használták. Az ilyen rendszerek csak egy, a vételi irányba eső null-hellyel rendelkező antennát használnak; a beesés irányt az antennának a minimális vételű helyzetbe irányításával kaphatjuk meg. Bellini és Tosi 1903-ban publikálták a szkennelt antenna eljárásokkal (rádió goniométer) kapcsolatos munkáikat. Ezek a rendszerek – az antenna vételi karakterisztikájának elektromos „mozgatásával” – alternatívát kínálnak a mechanikusan forgatott antennákkal szemben.

Elektronikus szkennelésű Wullenweber rendszerek

Wullenweber az antenna-karakterisztika tulajdonságait egy antenna helyett egy időben antenna csoportokkal határozta meg. Az antennákat – az egy adott irányból érkező jelre fókuszolandó – kombináltan, jellegzetesen késleltető vonalakkal összekapcsolva alkalmazzák. Koncentrikus körök alakjában elhelyezkedő antennákat alkalmazó, vezérelhető antennakarakterisztikát előállító (keskeny sáv az összeg csatornában, nulla a különbségi csatornában) antennákkal működő, nagy látószögű iránymérő rendszereket alkalmazznak. A szkennelő módszernél alkalmazott irányhatás következtében ezek a rendszerek rendkívül érzékenyek. A komplex antennákból és a szükséges nagy infrastruktúrából adódóan meglehetősen drága.

Adcock/Watson-Watt iránymérők

Ezek a rendszerek az antennák és a jelfeldolgozás területén végbement fejlődést használják ki egy, csaknem azonnali leolvasást lehetővé tevő rendszer létrehozására. Az alkalmazott Adcock-antennarendszer (1918-ban fejlesztették ki) dipól vagy monopol antenna párokból áll, amelyek az ismert „nyolcas” vételi karakterisztika kialakítása érdekében 180 fokos hibrid áramkörrel vannak összekapcsolva. Ortogonális alapvonalakon elhelyezkedő két Adcock pár a jel beérkezési irányban olyan karakterisztikával rendelkezik, amely az egyik an-

tenna beérkezési iránya szinuszával és a másik antenna beérkezési iránya koszinuszával arányos. Ez hasonlít a keresztezett hurokantennák karakterisztikájához. A Watson-Watt technika három fázisban illesztett vevővel dolgozik, szinusz és koszinusz függvényként megjeleníti a beérkezési szöveget, valamint egy harmadik, a bizonytalansági problémák megoldására szolgáló omnidirekcionális (körsugárzó) csatornát. A klasszikus Watson-Watt technikánál a koordináta konverzió elvégzéséhez a kijelző (katódsugárcső) X, Y és Z (intenzitás) bemeneteit használják fel.

Doppler/pszeudó-doppler iránymérők

A modern iránymérők az irány meghatározásához digitális jelfeldolgozó technikákat (DSP) alkalmaznak. A Doppler és a pszeudó-Doppler rendszereket az 1950-es években, a mozgó antenna és a vett jel között kialakuló Doppler-eltolódásra alapozva fejlesztették ki. Kiderült, hogy egy r sugarú körív mentén mozgó monopol antenna a távoli állomás jelét a beérkezési szöggel és a vevőantenna forgásával arányos Doppler-eltolódással veszi. A jel iránya a maximális Doppler-eltolódás vételi helyénél érintőleges a forgási körre. Az antenna mechanikus forgatása az UHF sáv alatti frekvenciákon előnytelen, ezért kifejlesztettek egy elektronikus kapcsoló eljárást, amivel a fix, köralakban elhelyezkedő antennákból álló antennarendszer esetén is lehetőség van a forgatás elektronikus szimulálására. Ez a technika a pszeudó-Doppler módszer.

Interferométeres eljárások

Az irányvonal meghatározására szolgáló nagyon pontos módszer, melyet az 50-es, 60-as években fejlesztettek ki. A rendszer különbségi fázist mér legalább két független antenna között. Kritikus eleme a fázisdetektor, amely a két vett jel közti fáziskésleltetést adja meg. A késleltetés segítségével megbecsülhető a beesési szög. Egy 3, 4, 5 vagy még több antenna kombinációjából álló rendszer segítségével – antennaforgatás nélkül – elérhető a 360 fokos látószög. A különböző antennáktól érkező bemenőjelek kombinálására eredményesen használhatók fel a sokcsatornás vevőrendszerek és antenna-kapcsolók.

Korrelatív interferometriás rendszerek

E modern, kettő vagy több szimultán társ csatornás jel feldolgozására alkalmas rendszerek kifejlesztését a rádiócsillagászatnak köszönhetjük. Itt az antennarendszer elemeire vonatkozó autokorrelációs és keresztkorrelációs jelek kiértékelésére és az áteresztő sávi többszörös jelek jelenlétének megállapításához statisztikai eljárásokat (mint például a többszörös jelek osztályozása, Multiple Signal Classification – MUSIC algoritmus) alkalmazznak. Ezek a rendszerek tipikusan – a vett amplitúdó- és fázisértékek korreláció-analízisével határozzák meg az irányvonalat. Ez a korrelatív interferometriának is nevezett eljárás képes a készülék és a helyfüggő hibák kiküszöbölésére és igen sokféle antennarendszerrel tud együttműködni.

Valamennyi iránymérő technikának megvannak a maga előnyei és hátrányai. A legegyszerűbb és legolcsóbb módszereknél lehetnek ugyan a pontossággal, érzékenységgel vagy polarizációval kapcsolatos problémák, azonban igen jól alkalmazhatók egyes mobil tájoló feladatokhoz. A legfejlettebb, számítógépeket igénylő technikák hordozhatóságot és rendkívüli pontosságot biztosítanak.

Ezen túlmenően ezek a rendszerek – mivel képesek a beeső jel elevációs szögének mérésére és a hagyományos azimut becslésre – a HF. SSL tartományban is alkalmazhatók. A gyártók különböző változatokat kínálnak. Fontos azonban, hogy az iránymérő eszközök kiválasztásakor az *üzemeltetési célok* kellőképpen meg legyenek határozva.

Az *iránymérés pontossága* a 4. táblázat szerinti négy osztályba sorolható be (ITU-R SM.1269 ajánlások). Egy iránymeghatározás akkor tartozik bele valamelyik osztályba, ha annak a valószínűsége, hogy az iránymeghatározási hiba meghaladja a táblázatban az adott osztályra vonatkozó numerikus értéket, kisebb mint 10%.

Ezt a valószínűséget egy, az iránymeghatározás teljes szórását befolyásoló öt komponens (műszerrel, helyszínnel, terjedéssel, véletlen mintavételezéssel és megfigyeléssel kapcsolatos komponensek) analízisiből kell meghatározni.

rés, analóg- és digitális demoduláció, kódfelismerés és csatorna-dekódolás.

A monitor-állomáson vett rádiójel analízáló folyamata két ágra bontható: a fizikai jel analízálására és a demodulált információk analízálására. A fizikai jel analízálása azt jelenti, hogy kivesszük belőle a rejtett információt, ha ez lehetséges, egyébként technikailag írjuk le a jelet. Ez esetben a jel össze is hasonlítható más, ismert jelekkel, vagy leírható a statisztikai jellemzőivel.

A demodulált jel analízise azt jelenti, hogy kivonjuk az információkat a demodulált jelfolyamból, és megvizsgáljuk, hogy van-e (másodlagos) rejtett információ az adatfolyamban. Ha ezek nem vezetnek sikerre, akkor megkíséreljük a jel technikai leírását.

A jelanalízishez különböző technikai eszközökre is szükség van. A komplexebb modulációk esetén speciális, kifejezetten a jelanalízis céljait szolgáló műszerekre is szükség van. Mivel a különböző adminisztrációk monitorozó szolgálatainak lehetnek eltérő igényei, egy jó jelanalízáló berendezésnek nyitottnak és flexibilisnek kell lennie mind a fizikai konstrukcióját, mind pedig funkcióit illetően.

Ilyen szempontok alapján a legjobb megoldásnak a digitális jelfeldolgozó (DSP) rendszerek tekinthetők, bővíthető és korszerűsíthető, moduláris hardverrel és szoftverrel.

Osz- tály	Mérési hiba (fok)	Megfigyelési jellemzők				
		Jelerősség	Írány- indikáció	Interferencia	Íránykité- rés (fok)	A megfigyelés ideje
A	± 1	jó vagy nagyon jó	határozott	jelentéktelen	≤ 1	megfelelő
B	± 2	majdnem jó	fluktuáció	kicsi	> 1 ≤ 3	rövid
C	± 5	gyenge	erős fluktuáció	erős	> 3 ≤ 5	igen rövid
D	$\geq \pm 5$	alig vehető	meghatá- rozhatatlan	nagyon erős	> 5	nem megfelelő

4. táblázat
Íránymeghatározások
osztályozása
(30 MHz feletti
frekvenciákon)

- A osztály: 5%-nál kisebb annak a valószínűsége, hogy a hiba meghaladja a 1 fokot,
B osztály: 5%-nál kisebb annak a valószínűsége, hogy a hiba meghaladja a 2 fokot,
C osztály: 5%-nál kisebb annak a valószínűsége, hogy a hiba meghaladja a 5 fokot,
D osztály: a C osztályra megadottnál nagyobb hibájú iránymeghatározás.

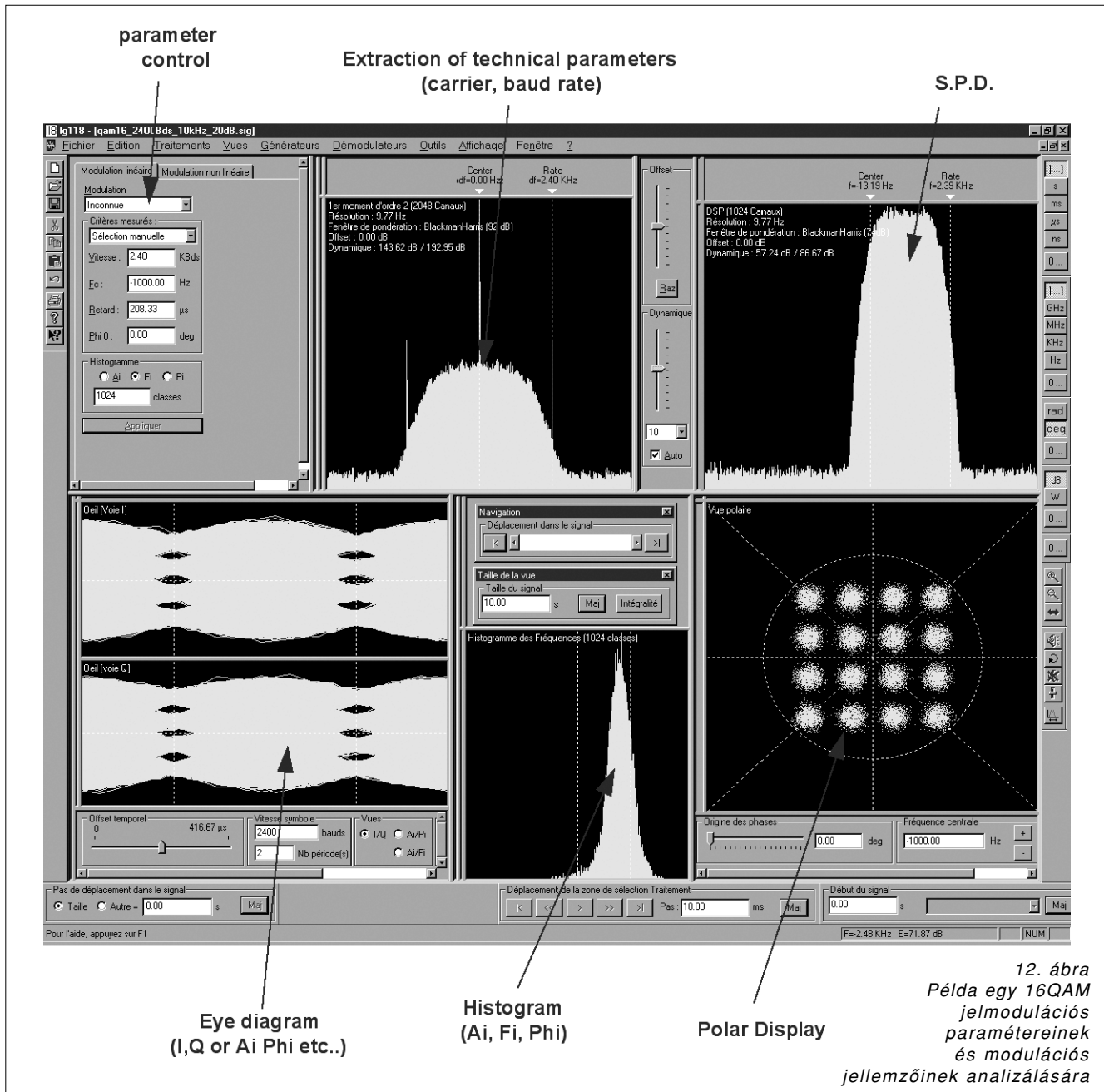
3.7. Jelanalízis

A jelek egyre inkább digitálisak és a konvencionális jelek maradék kapacitásait is egyre inkább felhasználják járulékos információk átvitelére. Ezért a jelanalízis az egyik legfontosabb monitorozási eszközzé vált.

A jelanalízis segítségével egy jeltől – esetünkben a rádiójelekből – a lehető legtöbb információt állítjuk elő. A kinyerendő információ lehet szándékosan kisugárzott információ, vagy technikai jellegű. A kommunikáció rétegekbe van szervezve, az OSI modell alapján. Ezért a jelanalízis is különböző rétegekbe szervezhető, így például detektálás, spektrumanalízis, moduláció felisme-

Egy digitális jel vizsgálatához a következő megjelöléseket lehet használni:

- szimbólum szinkronizációs kép (például szemábra) és/vagy fázis-háló, a moduláció típusának megfelelően);
- poláris reprezentálás a lineáris moduláció számára (a szinkronizálás érvényesítése, a konstellációs pontok és a szimbólumok közti átmenetek meghatározása);
- a fázis-, vagy frekvencia-modulációk hisztogrammos megjelenítése (a szinkronizálás érvényesítése, a segédvívók számának a meghatározása).



12. ábra
Példa egy 16QAM
jelmodulációs
paramétereinek
és modulációs
jellemzőinek analizálására

Irodalom

- [1] ITU-R Handbook on Spectrum Monitoring, 2002.
- [2] ITU-R Radio Regulations, Geneva 2001.
- [3] Recommendation ITU-R SM.377 – Accuracy of frequency measurements at stations for international monitoring.
- [4] Recommendation ITU-R TF.768 – Standard frequencies and time signals.
- [5] Recommendation ITU-R BT.655 – Radio-frequency protection ratios for AM vestigial sideband terrestrial television systems interfered with by unwanted analogue vision signals and their associated sound signals.
- [6] Recommendation ITU-R SM.378 – Field-strength measurements at monitoring stations.
- [7] Recommendation ITU-R SM.182 – Automatic monitoring of occupancy of the radio-frequency spectrum.
- [8] Recommendation ITU-R SM.1536 – Frequency channel occupancy measurements.
- [9] Recommendation ITU-R SM.328 – Spectra and bandwidth of emissions.
- [10] Recommendation ITU-R SM.443 – Bandwidth measurement at monitoring stations.
- [11] Recommendation ITU-R SM.1269 – Classification of direction finding bearings.
- [12] Van Maanen, E.: [1998a] Hidden information in A3E modulated broadcasting transmitters. Dutch Radiocommunications Agency, on request.
- [13] Van Maanen, E.: [1998b] Introduction cryptography and signal analysis in radiomonitoring. Dutch Radiocommunications Agency, on request.