

# Az IEEE 802.16 szabvány áttekintése

GÓDOR GYÓZÓ, SZALAY MÁTÉ, IMRE SÁNDOR

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Híradástechnikai Tanszék  
{godorgy, szalaym, imre}@hit.bme.hu

**Kulcsszavak:** WiMAX, IEEE 802.16, IEEE 802.x

*Cikkünkben az IEEE 802.16 szabvány célkitűzéseit, az eddigi munkát, illetve a 802.x családdal való kapcsolatot mutatjuk be. A 802.x család bemutatása után ismertetjük a 802.16 szabvány főbb elemeit, illetve a különféle átdolgozásokat. Végül kitérünk a WiMAX Fórum tevékenységére és a különböző eszközök és gyártók közötti együttműködés fontosságára.*

## 1. Bevezetés

Az IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802 LAN/MAN szabványügyi bizottság Local Area Network (helyi hálózat) és Metropolitan Area Network (nagyvárosi hálózat) szabványok fejlesztésével foglalkozik. A legszélesebb körben alkalmazott szabványok az Ethernet-család, a Token Ring, a Wireless LAN, a Bridging és a Virtual Bridged LAN. Minden egyes szabvány fejlesztéséért egy-egy Working Group a felelős. A leggyakrabban használt szabványok neveit, illetve a fejlesztésért felelős Working Groupok megnevezéseit a későbbiekben ismertetjük.

Az IEEE 802.16 szabvány egy nagysebességű, nagy hatótávolságú, vezeték-nélküli BWA (Broadband Wireless Access) rendszer fizikai és közeghozzáférési rétegeinek definícióját tartalmazza. A 802.16 szabvány a vezetékes (wireline) szélessávú hozzáférési technológiák alternatívája [1].

A vezeték nélküli technológiák jelentőségét a „digitális megosztottság” megoldásában az egyes országok hírközlési hatóságai is felismerték, és ennek megfelelően az ilyen megoldások támogatásához liberalizációs folyamatot indítottak el az elmúlt néhány évben. 2002 áprilisában a vezeték nélküli eszközök gyártói megalapították a globális szabványosítási és együttműködési kérdésekkel foglalkozó WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) Fórum nevű non-profit kereskedelmi szervezetet. A szervezet célja, hogy az IEEE 802.16 és az ETSI HiperMAN szabvány alapú 2-11 GHz frekvenciatartományban működő vezeték nélküli nagyvárosi hálózatok ipari elfogadását és implementálását megalapozza, ezáltal azok a vezeték nélküli távközlési piac jelentős részét alkothassák.

A WiMAX olyan szélessávú, vezeték nélküli megoldás definíálásán dolgozik, amelyben a különböző gyártóktól származó eszközök együttműködésre képesek, ezzel lehetővé téve a technológia gyors elterjedését. A WiMAX Fórum tevékenységét a 6. fejezet mutatja be.

A szakirodalomban az IEEE 802.16 szabványt és a WiMAX-ot gyakran szinonimaként használják, a következő cikkek is ezt a gyakorlatot követik.

## 2. Kapcsolat a 802.x családdal

Az IEEE 802.16 szabvány helyét a 802.x családban az 1. ábra mutatja. Jól látható, hogy hasonlóan a 802.3 (Ethernet), a 802.5 (Token Ring) vagy a 802.11 (WLAN) szabványokhoz, a 802.16 is fizikai és közeghozzáférési rétegeket definiál. A 802.x szabványok a felsőbb rétegekkel szabványos interfészen keresztül kommunikálnak, a biztonsági megoldások pedig a 802.10-es szabványban definiáltakra épülnek.

Tekintsük át a leggyakrabban használt 802.x szabványokat és a fejlesztésükért felelős Working Group-okat.

A fizikai réteget, illetve a közeghozzáférési réteget leíró szabványok a következők:

- 802.3: Ethernet (CSMA/CD) Working Group
- 802.4: Token Bus Working Group
- 802.5: Token Ring Working Group
- 802.6: Metropolitan Area Network (MAN) Working Group
- 802.11: Wireless LAN (WLAN) Working Group
- 802.12: Demand Priority Working Group
- 802.15: Wireless Personal Area Network (WPAN) Working Group
- 802.16: Broadband Wireless Access Working Group

A felsőbb rétegbeli szabványok megnevezései:

- 802.1: Higher Layer LAN Protocols Working Group
- 802.2: Logical Link Control Working Group
- 802.10: Security Working Group

## 3. Az IEEE 802.16 szabvány

Az IEEE 802.16 szabvány a MAN-környezetben működő Broadband Wireless Access közeghozzáférési (MAC) és fizikai (PHY) rétegeit definiálja. A MAC réteg három alrétegre tagolható, melyek a következők: szolgáltatás-specifikus alréteg (Convergence Sublayer), közös alréteg (Common Part Sublayer) és biztonsági alréteg (Security).

A továbbiakban röviden bemutatjuk a 802.16 MAC illetve PHY rétegeket, illetve a szabvány különböző átdolgozásait [1].

**3.1. A 802.16 MAC réteg**

A MAC réteg három jól elkülöníthető részre tagolódik. Legfelül található a szolgáltatás-specifikus alréteg, mely a felsőbb protokollokhoz való illesztést segíti. Középen helyezkedik el a közös alréteg, amely a MAC kulcsfontosságú funkcióit közvetíti. Végül legalul található a biztonsági alréteg.

*Szolgáltatás-specifikus alréteg*

A szabvány kétféle konvergencia alréteget definiál a felsőbb rétegekhez való illesztésre. Az egyik az ATM konvergencia-alréteg, a másik pedig a csomag konvergencia-alréteg (csomagkapcsolt protokollok továbbítására, mint például IP, PPP vagy Ethernet). A szolgáltatás-specifikus alréteg feladata, hogy a MAC SDU-kat (Service Data Unit) az adott protokollban alkalmazott adatkeretű alakítsa, illetve a QoS paraméterek biztosítása az adott összeköttetésen.

*A közös alréteg*

Ez az alréteg a hatékony közeghozzáférési mechanizmus biztosításáért felelős. A 802.16 szabvány a kétirányú PMP (pont-multipont), illetve a „mesh”-módot definiálja. A MAC összeköttetés alapú, ami azt jelenti, hogy minden szolgáltatás egy egyedi azonosítóval rendelkező kapcsolathoz van rendelve. Ez az úgynevezett kapcsolat-azonosító (Connection ID – CID), mely 16 bites. A 802-2001 szabványnak megfelelően minden előfizetői állomás (Subscriber Station – SS) rendelkezik egy 48 bites MAC címmel, mely a globális azonosítást biztosítja, illetve a regisztráció és a hitelesítés során játszik fontos szerepet. A közös alréteg további funkciói a következők: címezés, MAC header illetve PDU (Packet Data Unit) kialakítása, fragmentáció, ütemezési feladatok, sáv szélesség allokálás és a PHY réteg támogatása (duplexálási technikák).

*A biztonsági alréteg*

Ez az alréteg két fontos funkciót lát el. Először is biztosítja az adatok titkosítását a bázisállomás és az előfi-

zetői állomás között a kapcsolat teljes időtartama alatt, így biztosítva az előfizetőt arról, hogy adatai nem kerülnek illetéktelen személy kezébe. Másodsorban a megsemmisítéses (impersonating) támadások ellen véd.

**3.2. A 802.16 PHY réteg**

Minden egyes környezetben más-más fizikai réteg specifikációra van szükség. Az IEEE 802.16 szabvány három frekvenciasávot definiál a különféle működések szempontjából. Ez a három frekvenciatartomány a következő:

*10-66 GHz közötti engedélyhez kötött sávok*

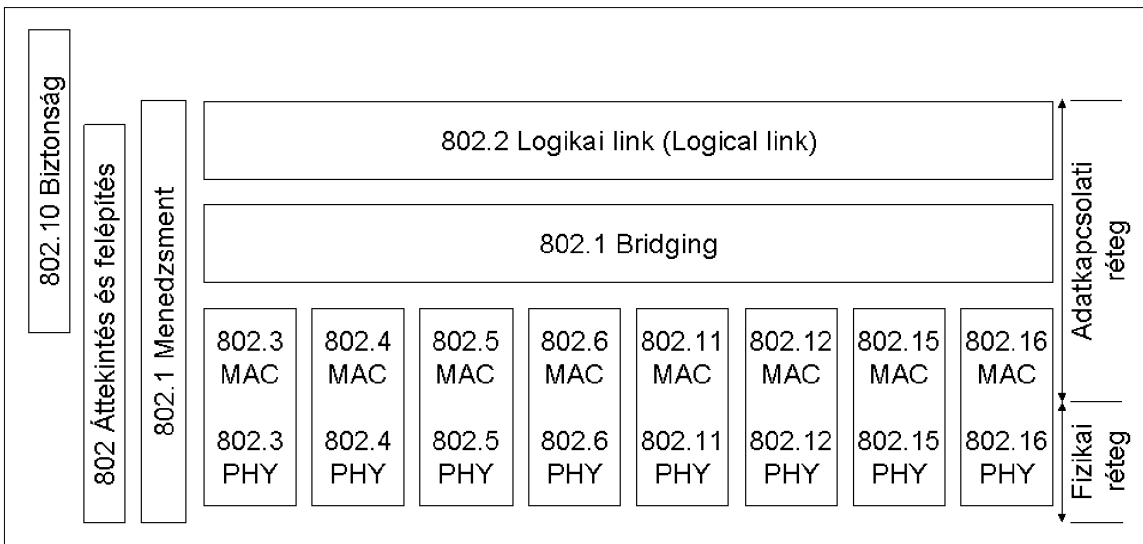
A 10-66 GHz közötti sávok szolgáltatják a fizikai környezetet, ahol a rövid hullámhosszaknak köszönhetően elengedhetetlen a közvetlen rálátás az antennára (line-of-sight, LOS) valamint elhanyagolható a többutas terjedés. A 10-66 GHz-es sávban a tipikus csatorna sáv szélesség 25-28 MHz. Az adatátviteli sebesség 120 Mbit/s, így ez a környezet alkalmas PMP (point-to-multipoint) hozzáférési szolgáltatások kezelésére: a small office/home office (SOHO) környezettől egészen a közepes és nagy irodai környezetekig.

*2-11 GHz közötti sávok*

A 11 GHz alatti frekvenciák olyan fizikai környezetet biztosítanak, ahol a hosszabb hullámhosszaknak köszönhetően nem szükséges a LOS és a többutas terjedés lehet a domináns. Ahhoz, hogy képesek legyünk near-LOS és non-LOS (NLOS) működésre, elengedhetetlen néhány kiegészítő PHY (fizikai réteg) funkció, mint például továbbfejlesztett teljesítményszabályozási technikák alkalmazása, interferencia csökkentő/együttélési technikák és összetett antennák alkalmazása. Ezt a sávot a 802.16a szabvány fedi le [2].

*5-6 GHz körüli szabad frekvenciasávok*

A 11 GHz alatti szabad sávok terjedési körülményei hasonlóak az ebben a sávban működő engedélyköteles frekvenciákéhoz. A nagy különbség az, hogy a szabad sávban más eszközök is működnek, így további interferencia és együttélési problémák léphetnek fel, illetve figyelemmel kell lenni a megengedett kibocsátott teljesítményre is.



1. ábra  
A 802.x család felépítése

## 4. A 802.16 szabvány átdolgozásai

A 802.16 szabvány több átdolgozásból („revision”) áll. Léteznek továbbá kiegészítések („amendment”) és előzetes („draft”) szabványok. Ezeket általában a 802.16 szám utáni betűvel jelölik, például 802.16c. Előfordulhat, hogy több átdolgozást egy közös átdolgozássá fognak össze. A legfontosabb változatok a 2. ábrán láthatóak. Az alábbiakban áttekintést adunk a 802.16 szabvány különböző elfogadott átdolgozásairól, előzetes szabványokról és kiegészítésekről.

### 4.1. 802.16c

Ezt az átdolgozást az IEEE 2002. decemberében fogadta el. Az átdolgozás a 10-66 GHz frekvenciasávban történő line-of-sight (LOS) szélessávú vezeték nélküli kommunikáció rádiós interfészét definiálja. Az adatátviteli sebesség elvi határa 70 Mbit/s, melyen a felhasználóknak osztozniuk kell. Az áthidalható távolság elérheti az 50 km-t is.

### 4.2. 802.16a

Az IEEE 2003 januárjában fogadta el ezt az átdolgozást. A 2-11 GHz frekvenciatartomány MAC és PHY rétegét definiálja. Az alacsonyabb frekvenciatartomány lehetővé teszi a non-line-of-sight (NLOS) kommunikációt is. 20 MHz-es csatornánként 100 Mbit/s adatátviteli sebességet tesz lehetővé. Tipikusan 6-8 km-es cellasugarat használ.

### 4.3. 802.16b

Ez az átdolgozás az 5-6 GHz körüli szabad, engedélyhez nem kötött alkalmazásokat foglalja magában.

### 4.4. 802.16d

Az IEEE 802.16d átdolgozást az IEEE 2004 júniusában fogadta el, és 802.16-2004 néven került publikálásra. Ez az átdolgozás az addigi 802.16 szabványok „összeolvadásából” jött létre, azokat hivatott helyettesíteni. A következő szabványokat helyettesíti hivatalosan: 802.16-2001, 802.16c-2002, és 802.16a-2003. A szakirodalomban általában, ha a 802.16 megjelölést betű nélkül használják, erre a változatra utalnak.

### 4.5. 802.16e

A 802.16e előzetes „draft” szabvány, a 802.16 szabvány kiegészítése. Míg a 802.16-2004 fix vezeték nélküli hozzáférést támogat, a 802.16e lefedi a fix, a nomád és a teljesen mobil vezeték nélküli hozzáférést. Definiálja, hogy hogyan kapcsolódhat a felhasználó mobil internetszolgáltató (Wireless Internet Service Provider) hálózatához, és hogyan képes a kapcsolatot fenntartani akár 120 km/h sebesség mellett is. Az „e” kiegészítésre általában, mint „mobil-kiegészítés”-re hivatkoznak, ám a mobilitás támogatása csak az egyik jellemzője a 802.16e-nek. A másik, hogy jelentős kiegészítéseket tartalmaz az OFDMA fizikai réteghez.

A 802.16e OFDMA fizikai rétegét Scalable OFDMA-nak (SOFDMA) nevezik. A SOFDMA azonban számos előnnyel bír fix hozzáférés esetén is, ezért ez a draft nem csak felhasználói mobilitás esetén fontos. Továbbá biztonság terén is tartalmaz újításokat. Ez a legtöbb vitára alkalmas draft, mert súlyos átfedésben van az IEEE 802.20 szabvánnyal. A 802.16e szabvány elfogadása és publikálása 2005 szeptemberben vagy októberben várható.

### 4.6. 802.16f

Az IEEE 802.16 Network Management Task Group a 802.16 szabványhoz készít kiegészítéseket (amendment). Ilyen kiegészítések a 802.16f és a 802.16g.

A 802.16f tervezetét az IEEE 2004 augusztusában fogadta el. A projekt célja a 802.16 szabványhoz kapcsolódó „Management Information Base” (MIB) definiálása, a menedzselhető objektumok meghatározása, és szabványos menedzsmet-módszerek kidolgozása. Ezzel a különböző gyártók eszközei menedzsmet szinten is kompatibilissá válhatnak.

### 4.7. 802.16g

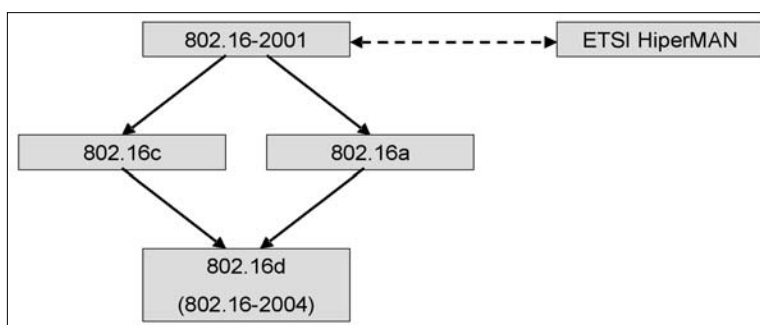
A 802.16g a 802.16f-hez hasonlóan a Network Management Task Group kiegészítése (amendment). Az IEEE 2004 augusztusában fogadta el a kiegészítés tervezetét a menedzsmet-síkhhoz tartozó eljárásokkal és szolgáltatásokkal kapcsolatban. A projekt célja szabványos menedzsmet algoritmusok és menedzsmet-hez kapcsolódó interfészek kidolgozása a 802.16e által (mobilitás támogatással) kiegészített szabványhoz. A kiegészítés kiterjed erőforrás-, mobilitás- valamint spektrum-menedzsmetre. A munka a 802.16f-fel szoros együttműködésben folyik.

## 5. ETSI HiperMAN

A 802.16-2004 szabvány egyik működési módját (a 256 OFDM PHY-t) az ETSI átvette az IEEE-től. Az ETSI HiperMAN szabvány mind a fizikai rétegben, mind a közeghozzáférési rétegben megegyezik az IEEE 802.16 által definiált működéssel.

Az ETSI HiperMAN kidolgozása a 802.16 szabvány kidolgozásával szoros együttműködésben történt. Az OFDM fizikai-réteg specifikációt például a HiperMAN

2. ábra A 802.16 szabvány különböző változatai



vette át a 802.16a-ból, de a 802.16-2004 már tartalmaz ETSI HiperMAN specifikációjából átvett részeket. A HiperMAN Protocol Conformance Implementation Statement (PICS)-et például a 802.16 szabvány vette át az ETSI-től.

## 6. A WiMAX Fórum és tevékenysége

A 802.16 szabvány egy nagyon összetett rendszert definiál. Számos megoldást felkínál a fizikai rétegben, különböző frekvenciasávokat határoz meg a kialakított környezeteknek, illetve a régióként eltérő frekvenciakiosztási szabályozást is figyelembe veszi. A vásárlói igényeknek megfelelően az IP centrikus és az ATM alapú rendszerek ugyancsak elfogadottak.

A rendszert úgy tervezték, hogy a nagy sávszélesség igényű üzleti alkalmazásoktól kezdve egészen a kisebb sávszélesség igényű otthoni felhasználásig megállja a helyét. A szabványban úgynevezett rendszerprofilok lettek definiálva, hogy a különféle igényeket, felhasználói elvárásokat minél jobban lehessen kezelni. A profilok célja, hogy leírja azon tulajdonságokat, melyek kötelezőek, vagy opcionálisak a tényleges megvalósítás során mind a fizikai, mind pedig a MAC rétegben. Ezáltal a gyártóknak lehetőségük nyílik ugyanarra a piacra olyan termékeket előállítani, amelyek képesek az együttműködésre, bár nem minden szempontból vannak azonosan implementálva.

A rendszerprofilok megléte még csak az egyik feltétele az együttműködési feladatnak. Szükség van egy szabványos eljárásra is, amelynek segítségével lehetőség van annak meghatározására, hogy egy eszköz vagy rendszer melyik profillal kompatibilis, illetve mely további opciókkal rendelkezik. Ez lehetőséget biztosít a rendszerfejlesztők számára ahhoz, hogy jó döntéseket tudjanak hozni arról, hogy milyen szolgáltatásokat tudnak nyújtani a vásárlóknak, és segítséget nyújt a megfelelő eszközök kiválasztásában is.

Meg kell említeni azt is, hogy az IEEE 802.16 termékek fejlesztői szembekerülnek azzal a mellékhatással, hogy a szabvány elsődlegesen a követelményekre koncentrál. A 802.16-os work group előírásokat határoz meg, illetve a munkája folytatásaként más piacok igényeinek megfelelően is kiterjeszti a szabványt, és kiegészítéseket készít az alapszabványhoz. A tesztelőírások abból a szempontból fontosak, hogy biztosítják a kompatibilitást, vagyis azt, hogy az adott szabványt vagy profilt igénylő eszközök ugyanazon tesztelési folyamaton estek át, illetve garantálják, hogy az egyes eszközgyártók által készített termékek a szabvány azonos értelmezése szerint kerültek tesztelésre, és végül független konformanciatesttel tesz lehetővé, ezáltal növelve az előző két tényező hitelességét.

A WiMAX rendszer hatékony működésének elengedhetetlen feltétele, hogy a különböző gyártók által szállított eszközök képesek legyenek az együttműködésre. A három vezető WiMAX eszközgyártó cég (a Redline Communications [4], az Alvarion [5] és az Air-

span Networks Inc. [6]) már megkezdte az együttműködési tesztek első fázisát, melyet a hannoveri CeBiT 2005 kiállításon jelentettek be. A tesztek első fázisa a fizikai rétegre összpontosít, azon belül is a fizikai rétegbeli kompatibilitásra, mely az adatcsomagok problémamentes átviteléért felelős a bázisállomás és az előfizetői állomások között.

A tesztek során használt termékek a következők: Alvarion BreezeMAX, Airspan AS.MAX termékcsalád és Redline RedMAX. A tesztek célja a WiMAX fórum [3] hivatalos tanúsítási folyamatának támogatása, mely 2005 júliusában megkezdődött. A tesztek először a 3,5 GHz-es frekvenciatartományban zajlanak és a TDD, illetve az FDD működést vizsgálják 3,5 MHz-es csatornaszélességgel.

A tesztelési folyamat következő lépésének középpontjába a MAC réteget állítják. További törekvés a tesztelés bővítése a WiMAX tanúsítási tesztkészlettel.

Az együttműködés abból a szempontból is nagyon hasznos, mivel ha egy hálózatüzemeltető több gyártótól is vásárolhat eszközöket, így árverseny alakul ki, mely segíthet a WiMAX rendszerek tömeges piaci elterjesztésének felgyorsításában.

## 7. Összefoglalás

Cikkünkben áttekintettük az IEEE 802.x szabvány-családot, majd bemutattuk a kapcsolatot a 802.16-tal. Ismertettük ezen szabvány célkitűzéseit, részletesebben kitértünk a MAC réteg felépítésére, az egyes alrétegek funkcióinak ismertetésére. Bemutattuk a szabványban specifikált különböző fizikai rétegbeli megoldások számára definiált frekvenciasávokat, illetve a 802.16 szabvány különböző átdolgozásait. Végül röviden bemutattuk a WiMAX szabványt, és részletesebben kitértünk a különféle hálózati elemek közötti, illetve a gyártók közötti együttműködés fontosságára.

### Irodalom

- [1] IEEE Standard for local and metropolitan area networks, Part 16:  
Air Interface for Fixed Broadband Wireless Networks,  
URL: <http://ieee802.org/16/pubs/80216-2004.html>
- [2] IEEE Standard for local and metropolitan area networks, Part 16:  
Air Interface for Fixed Broadband Wireless Networks,  
Amend. 2: Medium Access Control Modifications and  
Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz,  
URL: <http://ieee802.org/16/pubs/80216a-2003.html>
- [3] <http://www.wimaxforum.org>
- [4] <http://www.redlinecommunications.com>
- [5] <http://www.alvarion.com>
- [6] <http://www.airspan.com>