

CCK eljárás alkalmazása a vezeték nélküli hálózatokban

JUHÁSZ ÁKOS, DR. EGED BERTALAN

BME Szélessávú Hírközlő Rendszerek és Villamosságtan Tanszék,
Vezeték nélküli Információtechnológia Laboratórium

akos.juhasz@wit.mht.bme.hu, bertalan.eged@wit.mht.bme.hu

Kulcsszavak: IEEE 802.11b fizikai réteg, CCK (Complementary Code Keying) eljárás, zavarvédelem, komplementer kódok

A világ fejlődésével a távközlés mind fontosabb szerepet kap az élet minden területén. A technikai fejlődés hatására megjelenő újítások újabb igényeket és elvárásokat gerjesztenek, melyeket a fejlődés következő lépései igyekeznek kielégíteni. Az elmúlt évek során a kommunikációs technológiák fejlődésében jelentős fordulópontot hozott a mobilitás igényének megjelenése. A jól bevált és megszokott fix összeköttetések számos feladat megvalósítására alkalmatlanná váltak. Az élet mind több területén kezdte meg térhódítását valamilyen mobil technológia, ezzel új lehetőségeket és kihívásokat állítva mind az eszközök fejlesztői, mind pedig a rendszerek tervezői elé.

Bevezetés

A mobilitás fontosságát a mai rohanó élet során nem lehet eléggé hangsúlyozni. Az élet minden területén találkozhatunk vele mikor laptopot, mobiltelefont, PDA-kat vagy egyéb hasonló eszközöket használunk. Természetesen nem elég magukat az eszközöket mobilisá tenni, hanem sok esetben biztosítani kell ezen eszközök számára a kommunikáció lehetőségét is. Ezzel eljutottunk a vezeték nélküli kommunikáció fontosságához.

A vezeték nélküli kapcsolatoknak igen sok előnye van. Sok esetben van szükség nagyobb távolságot áthidaló kapcsolatra olyan helyeken, ahol a kábelépítés különböző okokból nem megvalósítható, vagy komoly problémákba ütközne. Ilyen esetekben fix telepítésű vezeték nélküli eszközök használatára van szükség. A már említett mobil eszközökhöz azonban olyan kommunikációs technológiák alkalmazására van szükség, amelyek alkalmasak mind a vezeték nélküli átvitel, mind pedig a mozgó terminálok okozta problémák leküzdésére.

A vezeték nélküli kommunikáció legnagyobb problémája az átviteli közeg használatából adódó zavarhatóság. Zavarforrásnak tekinthetünk az átviteli közegben lévő minden olyan jelet, melynek frekvenciatartománya, irányítottsága stb. olyan, ami rendszerünk jeleit módosítani képes.

Ezek a jelek származhatnak természetes forrásokból, más elektromos eszközökből; sőt, ilyen zavarjel lehet egy másik vezeték nélküli rendszer is. Az alkalmazott modulációs eljárások és technológiák egyik legfontosabb jellemzője az ezen zavarokkal szembeni ellenálló képessége.

Az IEEE 802.11 az egyik leginkább elterjedt vezeték nélküli hálózati technológiákat definiáló szabvány-család. Nézzük most meg, az alap szabvány által definiált fizikai réteget, valamint a használt rádiós csatornát.

Az IEEE 802.11 fizikai rétege

Az 802.11-es szabványt először 1997 szeptemberében ismertette az IEEE. Tudnunk kell, hogy a szabványcsoport több változtatáson ment át azóta, mely módosításokat különböző betűkkel jelölik (pl. 802.11a – 5GHz, OFDM; 802.11b – 2.4GHz, CCK kiegészítés; 802.11g, 2.4GHz, OFDM és CCK kompatibilis).

A szabvány először a 2.4GHz-es frekvenciára tervezett WLAN eszközök működési paramétereit definiálta. A 2.4GHz-es ISM sáv 83.5MHz széles (2.4-2.4835GHz). Ezen frekvenciasávot a szabvány 13 egymást átfedő, egyenként 22MHz sáv szélességű csatornára osztja, melyek középfrekvenciájának távolsága egyenként 5MHz. Ennek megfelelően e tartományban 3 át nem lapolódó csatornát biztosíthatunk. Párhuzamos rendszerek tervezésekor használhatunk átlapolódó csatornákat is, azonban számolnunk kell azzal, hogy így a két rendszer interferenciájából adódó zavar önmagában csökkentheti az elérhető adatátviteli sebességet.

Mivel a definiált frekvenciasáv ISM sáv, ezért a szabvány spektrumkiterjesztést (spread spectrum) definiál a rendszer zavarhatóságának és a rendszer által keltett zavarok csökkentésére. A szabvány lehetővé teszi mind a direkt szekvenciális (DSSS), mind pedig a frekvenciaugratásos (FHSS) sáv kiterjesztést is.

Az IEEE 802.11 által definiált FHSS eljárást alkalmazó eszközök GFSK modulációt alkalmaznak. Az így elérhető adatátviteli sebességek 1MB/s (2GFSK) és 2MB/s (4GFSK). Mára a kereskedelemben kapható eszközök között a DSSS eljárást alkalmazó eszközök teljes mértékben kiszorították az FHSS eljárást, a továbbfejlesztések is a DSSS vonalon folytatódtak.

A direkt szekvenciális spektrumszórás esetében 11 chipes (a szakirodalomban a szóró kód 1 bitjét nevezik chipnek) barker kódot definiáltak spektrum-kiterjesztő kódként valamennyi üzemmódban, így a chipsebesség 11MBit/s lesz minden esetben. Az alkalmazott modulációk által elérhető adatátviteli sebesség az FHSS rend-

szerekhez hasonlóan itt is 1 és 2MB/s lett. Ennek biztosításához DBPSK és DQPSK modulációt írtak elő.

A rendszerek mindkét esetben képesek az adatátviteli üzemmódok között automatán váltani, így zajosabb környezetben az átvitel stabilitása érdekében automatikusan kisebb lesz az elérhető adatátviteli sebesség. A fejléc legfontosabb részei definíciószerűen csak a legnagyobb zavartűrési üzemmóddal továbbíthatóak (1MB/s, DBPSK), ezzel is csökkentve a csomag meghibásodásának valószínűségét. Természetesen ez magával vonja azt, hogy a rendszernek egyetlen rádiós csomag továbbítása közben is képesnek kell lennie az üzemmód változtatására!

A technológia és a követelmények szigorodásának következtében a mobil hálózatok viszonylag hamar kinőtték a rendszerek által biztosított kereteket – leginkább a korlátozott adatátviteli sebességet – így újabb fejlesztésekre volt szükség a minőség javításához. Nagyobb adatsebességű eljárás konstruálására (802.11 HR) több próbálkozás is történt.

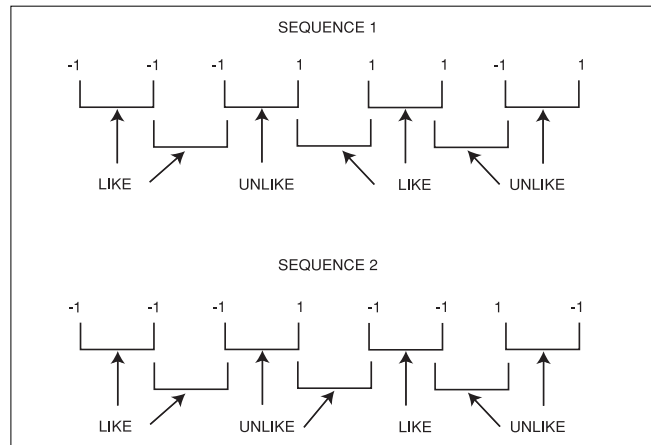
Kísérleteztek a BCPPM (Barker Code Pulse Position Modulation), MBOK (M-ary Bi-Orthogonal Keying), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), OCDM (Orthogonal Code Division Multiplex) eljárásokkal is, azonban végül a CCK (Complementary Code Keying) eljárás váltotta be a hozzá fűzött reményeket.

Komplementer kódok

A CCK eljárás alapjait a komplementer kódok elméletében kell keresnünk. A bináris komplementer kódok egy sokkal általánosabb kódhalmazból, a többfázisú kódokból származtathatóak. (Az IEEE802.11 CCK eljárása ezeket a többfázisú kódokat alkalmazza.)

A komplementer kódokat először infravörös spektrometriában alkalmazták, de jó tulajdonságaik miatt radar applikációkban és OFDM eljárásokban is elterjedtek. Egyetlen alkalmazásban sem használták a komplementer kódokat olyan módon, ahogyan a 802.11 CCK eljárásában. Definíció szerint a komplementer kódok olyan kódpárokat jelentenek, melyek egyikében lévő hasonló bitpárok száma (bármilyen közzel véve) megegyezik a másik kódban lévő nem hasonló bitpárok számával.

Erre láthatunk egy egyszerű példát a fenti ábrán. Ebben a példában az első sorozatban 4 hasonló bitpár



van, míg a második sorozatban 4 nem hasonló bitpárt fedezhetünk fel. Táblázatba foglalva az egyes hasonló bitpárok számát különböző közzel véve a következő eredményt kapnánk:

Vizsgált bitek távolsága	1. Szekvencia		2. Szekvencia	
	hasonló	nem hasonló	hasonló	nem hasonló
1	4	3	3	4
2	4	3	3	4
3	1	5	5	1

Ebből tehát látható, hogy a komplementer kódokban egy erős szimmetria rejlik. Ennek nagy előnye, hogy a periódikus autokorrelációs vektora (kódszó és eltoló kódszó szorzata) ezen vektoroknak mindenhol nulla, kivéve a nulla eltolást.

Az elmondottakat matematikailag a következőképpen írhatjuk le:

$$c_j = \sum_{i=1}^{n-j} a_i a_{i+j} \quad d_j = \sum_{i=1}^{n-j} b_i b_{i+j}$$

ahol n a kódszó hossza, a és b pedig a két komplementer szekvencia.

Ideális esetről akkor beszélhetünk, ha

$$c_j + d_j = 0, \quad j = 0 \quad \text{és} \quad c_0 + d_0 = 2n.$$

Az ideális esetet általában nehéz megvalósítani, de jó kódokról beszélhetünk, ha csupán egy csúcsértéke van az autokorrelációs vektornak több kis csúccsal.

A fent említett két kódsorozatot vizsgálva megállapíthatjuk, hogy ezek tökéletes komplementer kódok:

Vizsgált bitek távolsága	1. Szekvencia									2. Szekvencia					Cj+Dj					
	kód									Cj	kód					Dj				
0	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1		8	-1	-1	-1	1		-1	-1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	0	0
2	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	0	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0	0
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-4	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	4	0
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0	0
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-4	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	4	0
6	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	0
7	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	0	0

Többfázisú komplementer kódok

A többfázisú komplementer kódok olyan szekvenciákat tartalmaznak, melyek szintén komplementer tulajdonságokkal rendelkeznek, azonban elemeinek fázis paraméterei is vannak.

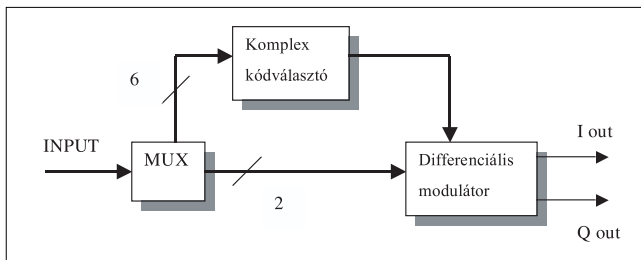
A 802.11b által definiált kódkészlet komplex komplementer kódokat tartalmaz, tehát az elemei komplex számok.

A 802.11b szabvány, CCK kiegészítés

Az átviteli sebesség növelésére tett kísérletek eredményeképpen az IEEE 1999 szeptemberében bejelentette a 802.11 szabvány 'b' kiegészítését, melyben a már meglévő adatátviteli üzemmódokat további két üzemmóddal egészítették ki, így az elérhető maximális adatátviteli sebesség 11Mb/s-ra nőtt. A két új üzemmódban CCK eljárást írtak elő, melyekben ugyan azt a chipsebességet és spektrumszélességet használja a rendszer, mint a barker kóddal történő spektrum-kiterjesztés esetén.

A CCK eljárás egy 64 elemű kódmodulációs eljárásnak is tekinthető, melyben a spektrum-kiterjesztő kód egy 64 elemű közel ortogonális vektorhalmazból kerül kiválasztásra. A kiválasztott 8 bit hosszúságú komplex (QPSK) vektor ennek megfelelően 6 bit információ átvitelére alkalmas. További 2 bit információ átvitelére ad lehetőséget a moduláció, mellyel előállítható a QPSK szimbólum.

Ennek megfelelően egy CCK adó egység elvi felépítése a következőképpen vázolható:



CCK moduláció, adó áramkör elvi felépítése

Az így kialakított szimbólum azonban mindössze 8 chip hosszúságú, így nem használja ki teljesen a 802.11 szabvány által definiált rádiós csatornát, ehhez 11 chip hosszúságú spektrum-kiterjesztő kódra lenne szükség. Ennek eléréséhez a szimbólumsebesség 1.375-szörös növelésére van szükség. A rendszerrel elérhető adatátviteli sebesség elvi maximuma tehát 11Mbit/s lett, miközben a definiált 22MHz szélességű átviteli csatornát megfelelően kihasználjuk.

Az eljárást leíró formula az alábbiak szerint alakul:

$$c = \{e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_4)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}, e^{j\varphi_1}\}$$

A formulából látható, hogy az egyes chipeket 4 különböző fázistényező határozza meg. Az első mindegyik chipet modulálja, ennek megfelelően ez definiálja a QPSK forgatását az egész kódvektornak (ezt a fázistényezőt határozza meg az adatból leválasztott két bit). A második tényező minden páratlan chipet, a harmadik minden páratlan chippárt, míg a negyedik az első négy chipet modulálja.

A megfelelő fázis paraméterek kiválasztása a 8 adatbitből a következőképpen történik:

Adat	Fázis paraméter
(d ₁ ,d ₀)	φ ₁
(d ₃ ,d ₂)	φ ₂
(d ₅ ,d ₄)	φ ₃
(d ₇ ,d ₆)	φ ₄

Nézzünk most is egy példát!

Tegyük fel, hogy az átvinni kívánt adatbájtunk

$$d[7...0]=1,0,1,1,0,1,0,1$$

Ezzel a fázisértékek:

$$\begin{aligned} d_1, d_0 = 0, 1 \quad \text{tehát} \quad \varphi_1 &= \pi; \\ d_3, d_2 = 0, 1 \quad \text{tehát} \quad \varphi_2 &= \pi; \\ d_5, d_4 = 1, 1 \quad \text{tehát} \quad \varphi_3 &= -\pi/2; \\ d_7, d_6 = 1, 0 \quad \text{tehát} \quad \varphi_4 &= \pi/2; \end{aligned}$$

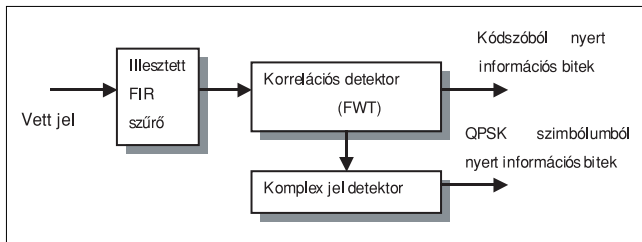
Ezeket a fázisértékeket a formulába helyettesítve a következő kódszót kapjuk:

$$c = \left\{ e^{j2\pi}, e^{j\pi}, e^{j\frac{5\pi}{2}}, -e^{j\frac{3\pi}{2}}, e^{j\frac{3\pi}{2}}, e^{j\frac{\pi}{2}}, -e^{j2\pi}, e^{j\pi} \right\} \\ = \{1, -1, j, j, -j, j, -1, -1\}$$

A 802.11b kiegészítés két adatátviteli sebességű üzemmóddal bővíti a szabványt. Az 5.5Mbit/s-ot az előzővel megegyező CCK eljárással éri el. A kisebb adatátviteli sebességet úgy érhetjük el, ha a már definiált CCK szimbólummal kevesebb információs bitet viszünk át. Ennek megvalósítását a komplex kódválasztó limitálásával érhetjük el. A 64 kódszóból megfelelő módon kiválasztva 4-et a szóróköddel átvihető információ 2 bitre csökken, azaz a teljes szimbólum csupán 4 bit információt fog hordozni, tehát az adatátviteli sebesség a felére csökken.

A CCK vevő áramkör felépítése egy korrelációs detektor alkalmazását igényli, azaz egyfajta Rake vevőt megvalósítva tudjuk a legegyszerűbben dekódolni a vett jelet. Az így kialakított áramkör blokkvázlata a *következő oldali ábrán* látható.

A vett jel egy illesztett FIR szűrőn átengedve egy FWT (Fast Walsh Transform) egységbe kerül. Ez az egység azért használható jól, mert ezekben kódokban WALSH típusú struktúra rejlik. (Bár lehetséges lenne több komplementer kódszót is találni ezzel a 8 chippel,



CCK moduláció, vevő áramkör elvi felépítése

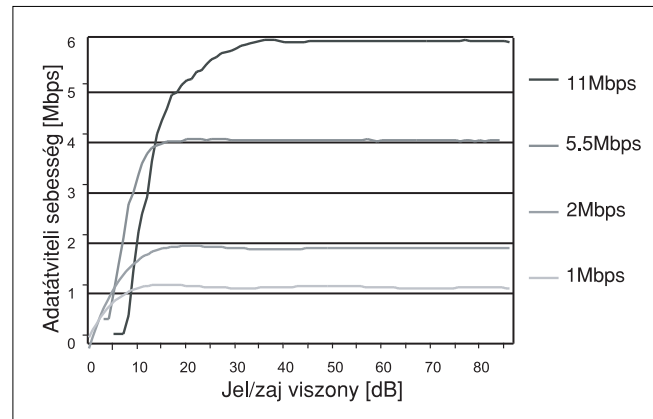
de ezeket nem lehetne FWT-vel dekódolni.) Az FWT egység két fő részre bontható funkció szerint. Az első részben annyi korrelátor kap helyet, ahány lehetséges szórókodeket alkalmazhatunk, míg a második rész egy BP (Biggest Picker) áramköri egység, mely a bemenetei közül a kiválasztja a legnagyobbat.

Ennek megfelelően megérthető az egység működése is. A bejövő szimbólumot minden korrelátor megkapja egyidejűleg, így mindegyik kimenetén megjelenik egy mennyiség, mely arra utal, hogy az adott korrelátor által vizsgált szórókodek mennyire hasonlít a szimbólumnál alkalmazotthoz. A BP áramkör ezek közül kiválasztja a legnagyobbat, mivel ezek alapján ennek a szórókodeknak volt a legnagyobb valószínűsége. Az így visszaállított QPSK szimbólum fázisának meghatározásával előállíthatjuk az adóban leválasztott 2 bitet, azaz visszaállítható az eredeti adatfolyam.

Összefoglalás

Megállapítható tehát, hogy a CCK eljárás lényegében véve egy MOK (M-ary Orthogonal Keying) szerű moduláció, melyben a használt kódok komplex szimbólum struktúrát alkotnak. A CCK használatával a 802.11 által definiált vezeték nélküli rendszer bővíthetett két nagyobb adatátviteli sebességű üzemmóddal, melyek a már definiált csatornán képesek továbbra is üzemelni, tehát a rendszer visszafelé kompatibilis maradt.

Végezetül nézzünk meg egy Lucent Silver WLAN kártyával vizsgált adatátvitelt, melyből kiderül, hogy a CCK-t használó két újabb üzemmód valóban jelentős sebességnövekedést eredményezett. Észrevehető azonban, hogy mind az 5.5 Mbit/s, mind pedig a 11Mbit/s üzemmód adatátviteli sebessége jelentősen elmarad az elméleti határértéktől. Ennek az oka a protokollrendszerben rejlik. Mivel az eszközöket visszafelé kompatibilisen alakították ki, így sajnálatos módon az új üzemmódok biztosította gyors adatátvitelt csak a csomag tényleges adatrészénél lehet kihasználni, így hatásossága csökken.



Természetesen – ahogy az a grafikonon mutatott mérési eredményekből is látszik – a nagyobb adatátviteli sebességet biztosító üzemmódok és modulációs eljárások jobb jel-zaj viszonyt igényelnek a hibamentes demodulációhoz.

Irodalom

- [1] Golay, Marcel J. E.: „Complementary Series”, IRE Transactions on Information Theory, 1961. április
- [2] Sivaswamy, R.: „Multiphase Complementary Codes”, IEEE Transactions on Information Theory, 1978. szeptember
- [3] Frank, Robert L.: „Poliphase Complementary Codes”, IEEE Transactions on Information Theory, 1980. november
- [4] Bob Pearson: „Complementary Code Keying Made Simple”, Intersil, Application note, 2000. május
- [5] Robert C. Dixon: Spread Spectrum Systems with Commercial Applications
- [6] Spread Spectrum Scene at www.sss-mag.com.
- [7] D. Duchamp, N. F. Reynolds: Measured performance of a wireless LAN. In Proceedings of the 17th Conference on Local Computer Networks, pp.494–499. IEEE, September 1992.
- [8] B. Tuch: Development of WaveLAN, an ISM band wireless LAN AT&T Technical Journal, pp.27–37, July/Aug. 1993.
- [9] Lucent Technologies, WaveLAN IEEE 802.11 PC Card User's Guide