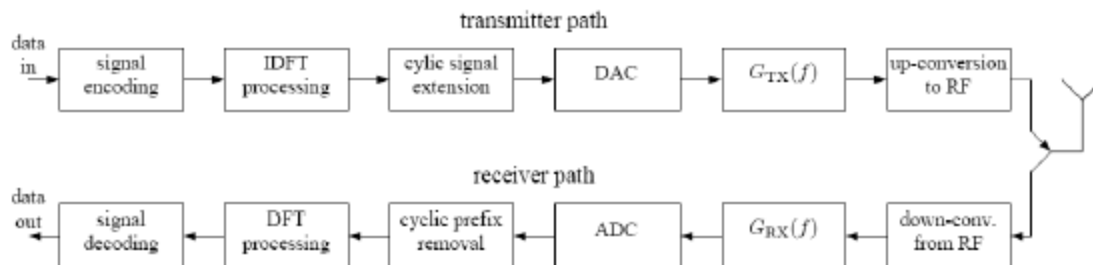
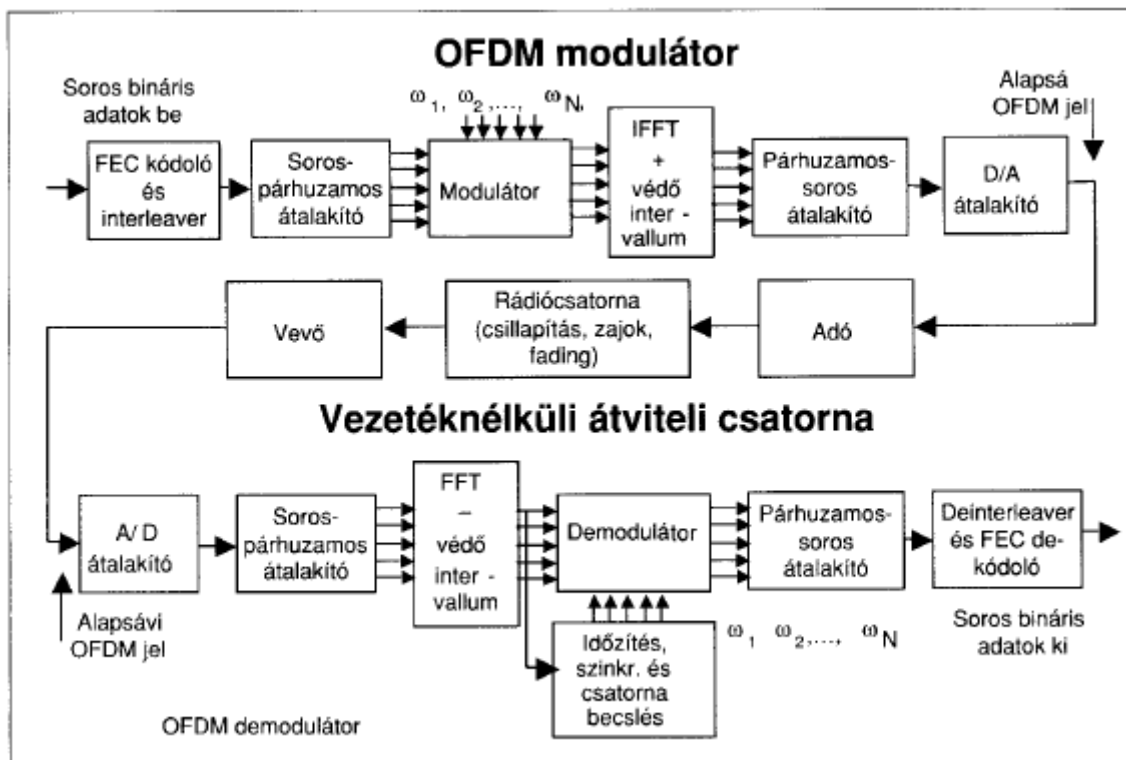


4g rádiós interfész mérése 2.

1. Rajzolja fel egy OFDM adó blokkvázlatát, nevezze meg az elemeket, és ismertesse röviden a feladataikat!



Másik beszédesebb ábra:



Kódolás és átszövés: Átviteli hibák elleni védelem, és csomós hibák hatásának csökkentése

Soros-párhuzamos átalakítás: Szélessávú adatfolyamot nagyszámú, kisebb sebességű bináris adatfolyamra, rész adatcsatornákra bontja

Modulátor: Moduláció elvégzése (PSK, QPSK, QAM, APSK)

IFFT + védőintervallum: Részsávok spektrumából a részsávok időfüggvényét állítja elő és a védőintervallum beiktatása

Párhuzamos-soros átalakítás és diszkrét analóg konverzió: A párhuzamos jelen lévő részsávok visszaállított időfüggvényeinek diszkrét mintavételi értékeit sorosan rendezze (időfüggvények összegzése, szuperpozíciója)

D/A átalakító: A diszkrét mintavételi értékeket folytonos időfüggvényé alakítja

2. Ismertesse az OFDM rendszerek előnyeit illetve hátrányait! (legalább 3-3)

Az OFDM alkalmazásának előnyei:

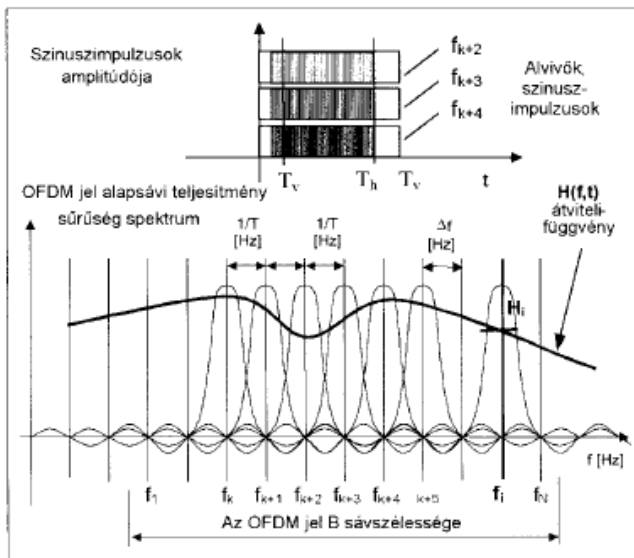
- Alkalmazkodás a csatorna állapothoz bonyolult csatornakegyenlítési eljárások nélkül.
- Robusztus a keskenysávú interferenciával szemben
- Az *ISI* (Inter Symbol Interference) nagymértékű csökkentése
- A többutas terjedésből származó fadinggel szembeni robusztusság
- Nagy spektrális hatékonyság
- Hatékony megvalósítás FFT segítségével (nincs szükség N elemű modulátorbankra)
- Kevésbé érzékeny a szinkronizációs hibákra
- Nincs szükség hangolt alvivős vevőszűrőre, FDM-mel (frequency division multiplexing) szemben

Az OFDM alkalmazásának hátrányai:

- Mobil rendszerekben a felhasználók mozgása eredményezi a Doppler-effektust, amelynek következtében az alvivők frekvenciái eltolódnak, amellyel a köztük fennálló ortogonalitás sérül. Ez a hatás vivők közti áthallást (interferenciát) eredményez (Inter Carrier Interference, *ICI*). A vivőfrekvenciák szinkronizációs hibái szintén a fent említett hatást eredményezhetik.
- Gazdaságtalan adóteljesítmény fogyasztás a lineáris teljesítményerősítőkkel szembeni megkötések miatt.
- A szomszédos cellákból származó közös csatornás interferencia kezelése bonyolultabb OFDM-ben, mint CDMA-ban. Dinamikus csatorna allokáció szükséges a szomszédos bázisállomásokkal együttműködve.

3. Rajzolja fel egy OFDM jel spektrumát, jelölje be a vivőtávolságokat!

2. ábra Az OFDM jel spektruma



4. Az OFDM vivőtávolságok meghatározásánál mi a két alapvető szempont?

Az alvivők távolságának a meghatározására két alapvető kényszer létezik:

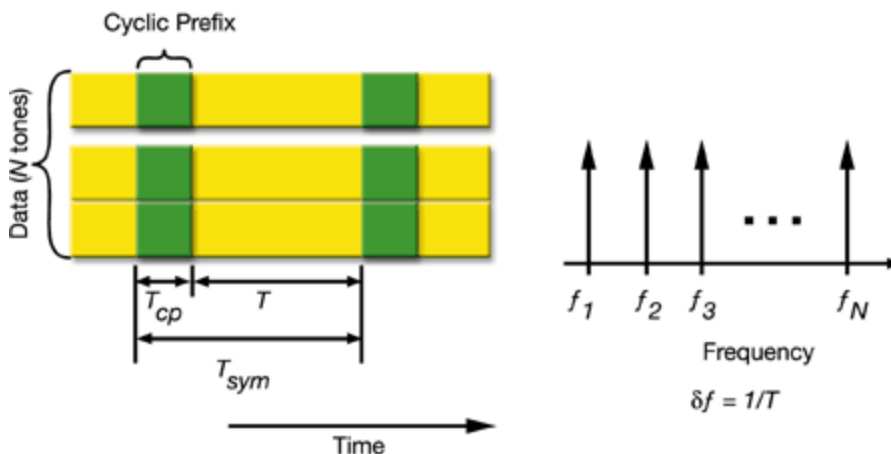
- Olyan keskenynek kell lennie, amilyen csak lehet (azaz, minél nagyobb legyen a szimbólumidő, hogy a prefix hossza minimális legyen)
- Túl kicsi távolságok pedig a Dopplerre, és egyéb frekvencia pontatlanságokkal kapcsolatos érzékenységet növelik.

5. Mi a ciklikus prefix (CP)? Rajzolja fel CP-t egy (időtartománybeli) OFDM szimbólumban! Mekkora csökkenést okoz a CP az átvitt szimbólum energiájában? Miért érdemes mégis használni? Hogyan kell megválasztani a méretét a hatékony átvitel megvalósításához?

ciklikus prefix (CP):

Az OFDM rendszerekben az adatkereteket egy ún. védősávval (guard interval), vagy a szakirodalomban gyakran megtalálható ciklikus prefix (CP, cyclic prefix) elnevezésű kiterjesztéssel látják el a többutas terjedéssel szembeni védekezés érdekében.

CP-t egy (időtartománybeli) OFDM szimbólumban (rajz):



CP az átvitt szimbólum energiájának csökkenése:

$$E'_s = E_s \cdot \frac{T_s}{T_s + T_G}$$

E_s : szimbólum energia

E'_s : csökkenett ekvivalens szimbólum energia

T_s : szimbólumidő

T_g : védőintervallum hossza

Alkalmazása:

A többutas csatornakésleltetés-szórásával szemben gyakorlatilag tökéletes védelem biztosítható. A ciklikus prefix a rendszerben redundanciát okoz, amely a rendszer átviteli képességét csökkenti.

Mérete:

A védőidőnek a szimbólumidőhöz számított aránya tipikusan 1/8 és 1/4 közötti érték között változik a gyakorlati rendszerekben.

6. Nagy, vagy kis cellák esetén nem alkalmazunk ciklikus prefixet? Miért?

Kis cellák esetén nem alkalmazunk ciklikus prefixet, mert az általa okozott teljesítményvesztés nagyobb lenne, mint a többutas terjedésből származó jelszerűlésből adódó információvesztés, és a sérült információ újraküldéséhez szükséges járulékos teljesítmény.

7. Hogyan adunk becslést egy OFDM átviteli rendszer (fizikai) bitsebességére, ha ismerjük a vivőtávolságokat, illetve a vivőkön alkalmazott modulációk típusát (a konstelláció méretét)?

$$R_{OFDM} = W_{ch} \cdot \sum_{j=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P_{r_j}}{N_0 \cdot T_s} \right)$$

$$T_s = 1/\Delta f$$

Δf : a vivők távolsága

N: vivők száma

$$N = \frac{W_{ch}}{\Delta f}$$

P_{r_j} : a j-edik vivőn mérhető vételi teljesítmény

M_n : konstelláció mérete az egyes alvivőkön

M_{max} : maximális konstellációs méret

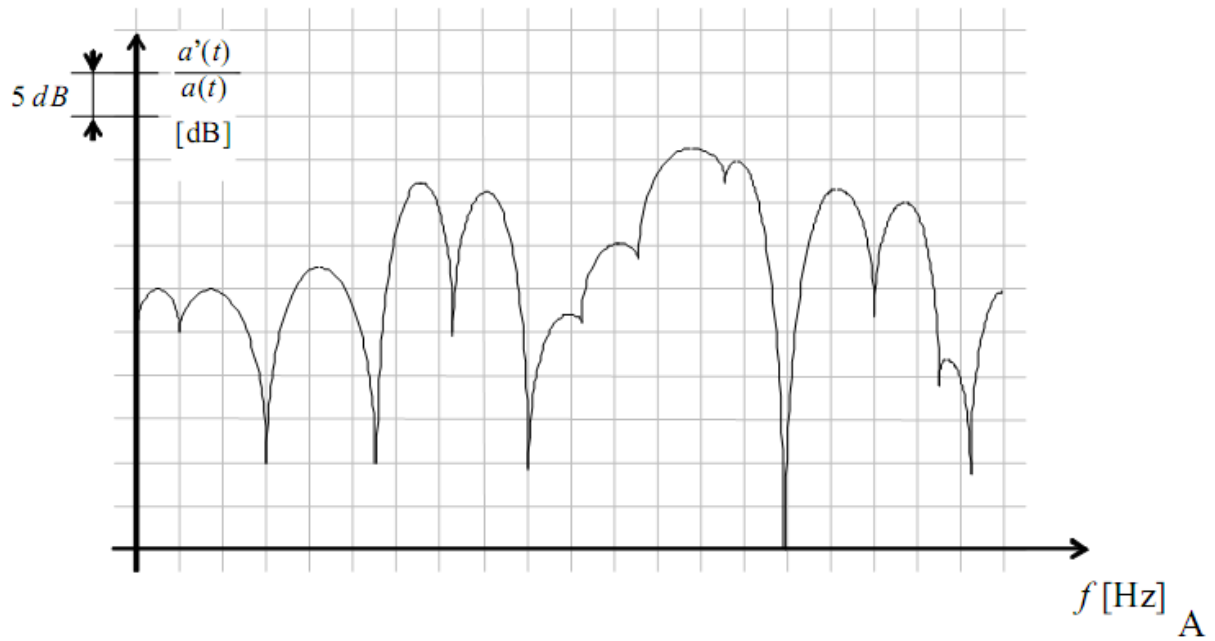
$$R_{OFDM} = \sum_{n=1}^N \frac{\log_2(M_n)}{T_s} = W_{ch} \cdot \log_2(M_{max})$$

8. Mi a különbség az OFDM és OFDMA között? Az OFDMA-ban hány vivőt oszthatunk ki egy felhasználónak? Ismertesse a többfelhasználós diverziti lényegét! (Illusztrációval)

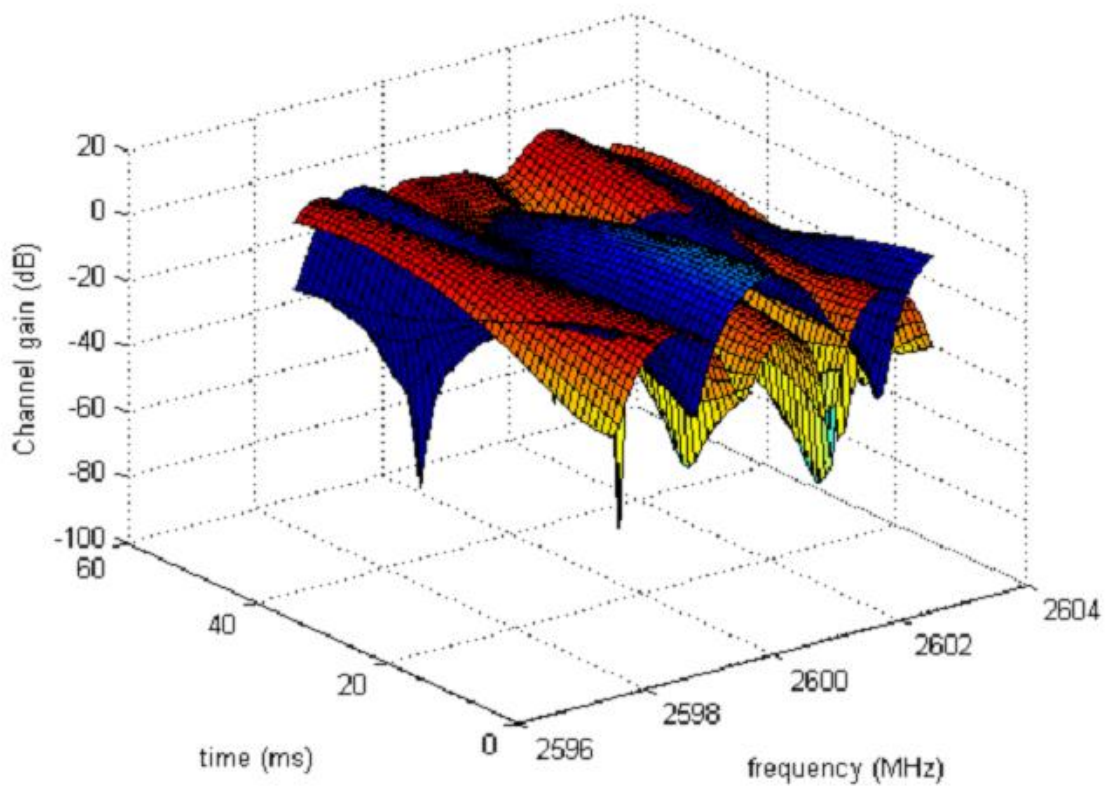
Az OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) az OFDM többfelhasználós változata. A többszörös hozzáférést úgy érjük el, hogy az átvitel során elérhető alvivőknek meghatározott részhalmazait osztjuk el az egyes felhasználók között olyan módon, hogy egy alvivő egyszerre csak egy felhasználóhoz tartozhat.

Többfelhasználós diverziti:

OFDMA hozzáférés segítségével az átviteli rendszer teljes átviteli sebességének a maximalizálása a célunk, értelemszerűen minden frekvencia-idő tartományhoz tartozó legkisebb csillapítású pontot kell az egyes felhasználókhoz rendelnünk. Annak a felhasználónak kell kiadnunk a vizsgált pont által meghatározott frekvenciasávot és időintervallumot, amelyek a legkedvezőbb csillapításbeli tulajdonságokkal rendelkeznek a megadott tartományban.



1.3. ábra A vett jel teljesítményének változása a frekvencia függvényében



1.4. ábra Az idővariáns csatorna szemléltetése (A multiuser diversity illusztrálása)

9. OFDMA-ban mi a legkedvezőtlenebb szituáció a fairness szempontjából?

Egy tartósan magas teljesítménycsillapítással rendelkező (pl. távoli) felhasználó egyik frekvencia-idő pontban sem fog rádiós erőforráshoz jutni.

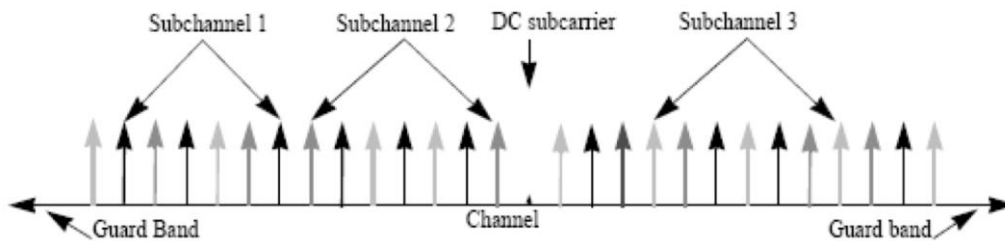
10. Mi az alcsatorna (subchannel), slot, adat régió és szegmens a WiMAX-ban?

Egy OFDMA szimbólum alvivőkből épül fel, számukat az FFT mérete határozza meg. Számos alvivő típus létezik:

- Adat alvivő: Adatátvitelre használatos.
- Pilot alvivő: A rádiós csatorna tulajdonságainak (teljesítménycsillapítás, késleltetés) becslése
- Null vivő: Semmilyen átvitel nincs, védősáv és DC vivő

OFDMA mód közben az aktív alvivők részcsoportokba vannak sorolva, melyek közül minden részcsoport egy alcsatornát (subchannel) képez. Downlink irányban egy alcsatorna több vevővel (vevőcsoporttal) is kapcsolatban állhat. Uplink esetben az adó egy vagy több alcsatornához tartozhat, több vevő adhat egyszerre.

Az alcsatornát képező alvivők lehetnek szomszédosak, de ez nem szükséges. Az elvet a 2.2 ábra illusztrálja. A szimbólumot logikai alcsatornákra osztjuk ki, amellyel skálázhatóságot, többszörös hozzáférést, és fejlett antenasor feldolgozást biztosíthatunk.



2.2. ábra OFDMA alcsatornák illusztrálása (3 csatornás eset)

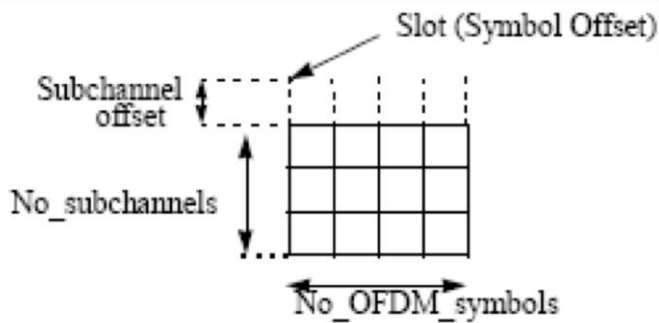
Az OFDMA fizikai rétegben a *slot*-nak idő és alvivő (frekvencia) dimenziója van, ez a legkisebb adatallokációs egység. Mindegyik slot egy, kettő vagy három db OFDM szimbólumból áll.

Az OFDMA slot definíció az OFDMA szimbólum struktúrájától függ, amely downlink esetben változik az alvivők teljes kihasználtságának módjában (Full Usage of SubChannels, FUSC), az alvivők részleges kihasználtságának a módjában (Partial Usage of SubChannels, PUSC), valamint az elosztott alvivő permutáció és a szomszédos alvivő permutáció alkalmazása esetén.

- Downlink FUSC, és downlink opcionális FUSC elosztott alvivő permutáció esetében: egy slot egy alcsatornát jelent egy OFDMA szimbólummal. Downlink PUSC, az elosztott alvivő permutációt alkalmazva: egy slot egy alcsatorna két OFDMA szimbólummal.
- Uplink PUSC esetén vagy az elosztott alvivő permutációk valamelyikének a használatával, vagy a downlink esetben a TUSC1 és TUSC2 alcsatornák használatával egy slot egy alcsatorna három OFDMA szimbólum.

- Uplink és downlink esetben a szomszédos alvivő permutációt alkalmazva egy slot egy alcsatorna egy, kettő, három és hat OFDMA szimbólum.

Az OFDMA átviteli módban egy *adat régió* (data region) a kétdimenziós allokációja egy folyamatos alcsatorna csoportnak, egy folyamatos OFDMA szimbólumokból álló csoportban. Mindegyik allokációt a logikai alcsatornákhöz soroljuk. Egy kétdimenziós allokációt téglalappal ábrázolhatunk, ahogyan a 2.3 ábra 4×3-as méretű téglalapja illusztrálja.



2.3. ábra Példa adat régióra, amely definiálja az OFDMA allokációt

Egy *szegmens* (segment) a további felosztását jelenti az elérhető OFDMA szimbólumok halmazának (amely az összes elérhető alcsatornát magába foglalhatja).

11. Mi a preamble, a TTG és az RTG a WiMAX-ban? Mit nevezünk PUSC és FUSC-nak a WiMAX-ban?

DL-ben minden keret egy előtaggal (Preamble) kezdődik, amely olyan fizikai rétegbeli eljárások megvalósításához szükséges, mint a frekvencia szinkronizáció, illetve a kezdeti csatornabecslés. A Preamble, amely az OFDMA-ban pontosan egy szimbólum hosszúságú (OFDM-ben lehet több is) BPSK modulált szimbólumokat tartalmaz, és néhány (3-4) dB-vel nagyobb teljesítményű, mint az adat szimbólumok.

Minden keretben egy adó (TTG, Transmit Transition Gap) és egy vételi (RTG, Receive Transition Gap) átmeneti „hézagot” (transition gap) kell beilleszteni a DL és az UL irányú átvitel közé, illetve minden keret végéhez külön-külön annak érdekében, hogy a BS váltani tudjon a két átviteli irány között.

A downlink alvivő allokáció kétféleképpen valósulhat meg:

- Az alcsatornák részleges használata (PUSC), amikor csak néhány alcsatorna van az adóhoz rendelve.
- Az alcsatornák teljes kihasználtsága az alcsatornáknak (FUSC), amikor minden alcsatorna az adóhoz van rendelve.

12. Mire szolgál az FCH? Milyen modulációt alkalmazunk benne? Hány ismétléssel kerül átvitelre? Miért fontos az ismételt átvitele?

A DL előtagot a keretvezérlő fejrész (Frame Control Header, FCH) követi, amely keretkonfigurációs információkat tartalmaz (MAP üzenet hossza, modulációra és kódolásra vonatkozó információk, használaton kívüli vivők). Az FCH tartalmazza a DL_Frame_Prefix-et és meghatározza a DL-MAP üzenet hosszát, azonnal követi a DL_Frame_Prefix-et és az ismétlő kódolást, amely a DL-MAP üzenetben használatos.

A DL_Frame_Prefix egy adatstruktúra, amely minden keret elején kerül átvitelre az FCH-hoz mappelve, és információkat tartalmaz az aktuális keretre vonatkozóan. Többek között egy bitmap, amely jelzi, hogy mely alcsatorna csoportokat használjuk az első PUSC zónában (alcsatorna index-tartományt rendelnek az alcsatorna csoportokhoz mindegyik FFT méret esetén); az ismétlő kódot a DL-MAP esetén használjuk; a FEC (Forward Error Correction) kódot a DL-MAP-hoz használjuk.

Az FCH átvitele QPSK modulációval, 1/2-es kódolási rátával valamint négy ismétlés alkalmazásával történik a kötelező kódolási eljárás segítségével. (azaz az FCH információ átvitele négy alcsatornán történik egymást követő logikai alcsatorna számokkal a PUSC zónában.)

13. Mi a különbség a WiMAX TDD és FDD keretszerkezet között? Mi a DL és UL MAP? Mit tartalmaz?

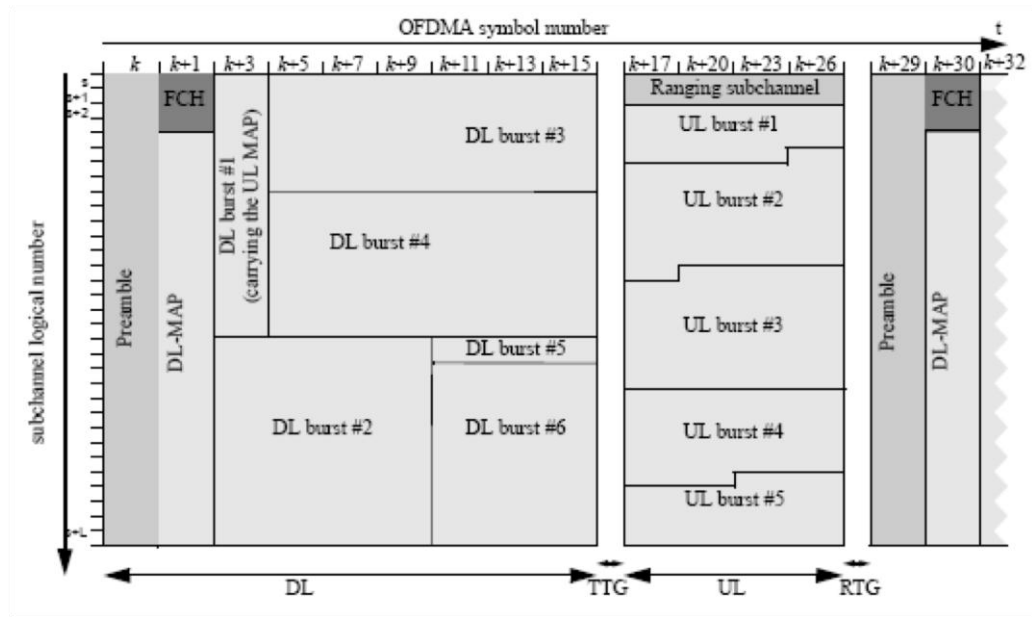
Az engedélyköteles frekvenciasávokon a duplexitás megvalósítása FDD (Frequency-division duplexing) vagy TDD (Time-Division Duplex) szerint történhet. Az FDD előfizetői állomások (Subscriber Stations, SS) lehetnek félduplex FDD-k (H-FDD) is. A szabad felhasználású sávokon a duplexitást TDD-vel biztosítják.

Az FDD WiMAX keret szerkezet is hasonló a TDD keretéhez azzal a különbséggel, hogy a DL és UL információk egyidőben kerülnek átvitelre különböző frekvenciákon (vivőkön).

A különböző felhasználókhoz tartozó információkat a kereten belül más-más területekre allokálják. Ezeket az allokációs információkat az UL és DL MAP (térkép) üzenetek tartalmazzák, amelyeket a DL alkeretben az FCH-t követően szórják ki (broadcast) az összes felhasználó felé.

A MAP üzenetek a burst profilt tárolják az összes aktív felhasználó esetében, amelyek a modulációra és kódolásra vonatkozó információkat tartalmazzák.

Mivel a MAP üzenet nagyon fontos információkat tartalmaz, ezért gyakran a legrobosztusabb modulációval, azaz BPSK-val kerül kiküldésre 1/2 kódolási rátával.



2.4. ábra OFDMA keret példa TDD mód esetén