

Тема 7. Предаване на данни. Дискретни модуляции. Методи и средства за защита от смущения и грешки, шумоустойчиви кодове. Канали за предаване на данни – параметри, особености. Модеми

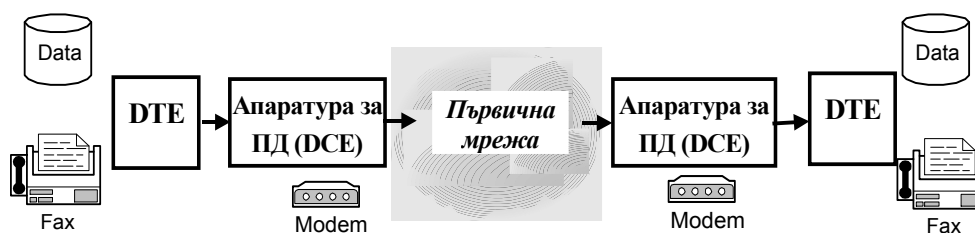
Предаване на данни - комуникационна услуга, при която между източник и един или повече приемници (компютри или други устройства) се обменят предназначени за обработка или вече обработени данни във вид на поредици от символи (букви, цифри, знаци).

Специфика на предаването на данни

1. Сигналите за предаване на данни са цифрови. Това изисква:
 - Използване на **дискретни модуляции** (манипулации).
 - Специални комуникационни **мрежи за предаване на данни**, отчитащи спецификата на данните, напр. мрежи с пакетна комутация.
 - За конвенционалните комуникационни мрежи, създавани да предават аналогови сигнали, са необходими **модеми**, чрез които комуникационните канали се съгласуват с източниците и получателите на данни.
 - Амплитудни и фазови **коректори**, чрез които се подобряват амплитудно и фазово-честотната характеристики на аналоговите канали и така се намаляват изкривяванията на цифровите сигнали.
2. В първичните данни **липсва информационен излишък**. Това налага да се използват:
 - **Средства за защита**, като шумоустойчиви кодове, чрез които грешките в приетото съобщение се откриват и/или коригират.
 - Специални **методи и алгоритми на предаване**, например, чрез обратна връзка между предавател и приемник.

Структура на канала за предаване на данни

1. Терминали (*Data Terminal Equipment – DTE*) - компютър, телефакс, контролер или друго дискретно устройство;
2. Апаратурата за предаване на данни (АПД) (*Data Circuit terminating Equipment - DCE*) - оборудване между мрежите и съответните *DTE* - модеми, терминални адаптери на ISDN и други устройства за включване към цифрови канали.



Структура на канал за предаване на данни

Методи и средства за защита на съобщенията

Причини за грешки:

Смущения: електрозахранване, индуктивни влияния, метеорологични шумове, искрене, промишлени смущения, прислушване от съседни канали.

Изкривявания: фазови изкривявания в каналите, междусимволна интерференция (ISI – Inter-Symbol Interference), големи затихвания.

Методи за защита:

- избор на подходящ телекомуникационен сигнал, устойчив на смущения;
- корекция на фазовите и амплитудно-честотните изкривявания в каналите
- използване на методи за откриване на грешките и инициране на действия по тяхното отстраняване;
- автоматично коригиране на грешките чрез шумоустойчиви кодове.

Системи за предаване на данни с обратна връзка

1. Повторно предаване на съобщението.

Принцип: автоматично искане на повтаряне (Automatic Request for Repeat - **ARQ**). Грешката се коригира по следния начин:

1. съобщението се запомня в предавателя,
2. предава се,
3. запомня се в приемника,
4. проверява се за коректност по установените параметри и ако е грешно, кодовата комбинация “се бракува”, а по канал за обратна връзка се изисква предавателят да го изпрати отново.

Системи с решаваща обратна връзка (аналог: приемащият абонатът моли предаващия да повтори, защото не е чул добре).

Системи с информационна обратна връзка (аналог: предаващият абонат иска от приемащият да каже какво е чул, за да се убеди, че вярно го е разбрал);

Как се повишава достоверността чрез повторение?

Пример без повторение:

Ако **вероятността за грешка по символ** е $p = 0.05$, вероятността един символ да бъде вярно приет е $q = 1 - p = 0.95$.

Достоверността на съобщение от 8 символа е $q^8 = 0.95^8 = 0.66$, а вероятността за грешка - $1 - 0.66 = 0.34$

Пример с повторение:

Вероятността след повторението един и същ символ да се приеме грешно е $p^2 = 0.0025$, а достоверността му е 0.9975

Достоверността на съобщение от 8 символа е $q^8 = 0.9975^8 = 0.98$, а вероятността за грешка е $1 - q^8 = 0.02$ (намаля 17 пъти)

Мажоритарно приемане

верен	1 1 0 0 1 0 1 0
първи блок:	1 1 1 0 1 0 0 0
втори блок:	0 1 0 0 0 0 1 0
трети блок:	1 1 0 0 1 0 1 1

Метод на Бодо – Вердан

Кодиране – прости и шумоустойчиви кодове

Ако един код се състои от n -разрядни двоични кодови комбинации, общият брой на всички възможни комбинации е $N_o = 2^n$. Ако всичките тези комбинации се използват за кодиране на някаква азбука от символи (напр. числата от 0 до 9 или на буквите от азбуката), този код се нарича **прост код** или **код без излишък**. При него дори само един-единствен двоичен разряд в една кодова комбинация да бъде сгрешен, това ще превърне тази комбинация в друга разрешена и ще доведе до грешка по комбинация – приемане на един кодиран символ като друг.

Ако от всички възможни комбинации N_o се използват само ограничен брой **разрешени комбинации** N_p (очевидно $N_p < N_o$), а останалите комбинации са **забранени**, то при възникване на една или няколко грешки по разряд в дадена разрешена комбинация, тя може да се превърне от разрешена в забранена и ако декодиращото устройство в приемната страна разпознава разрешените комбинации, няма да приеме забранената. Такъв код се нарича **шумоустойчив**. Той ще е толкова по-шумоустойчив, колкото по-силно е неравенството $N_p < N_o$. Ако N_p е фиксирано (равно е на броя на символите в азбуката, която е обект на кодиране), неравенството може да се усили само ако се увеличи $N_o = 2^n$, т.е. ако се увеличи n – дължината на кодовите комбинации. Ако за получаване на прост код са били необходими k разряда, за да се получат 2^k комбинации, то в шумоустойчивия код към тези k разряда, наричани **информационни**, трябва да се добавят още известен брой r **проверочни разряди** и тогава са валидни зависимостите

$$n = k + r; \quad N_o = 2^n = 2^{k+r}; \quad N_p = 2^k; \quad N_p < N_o$$

Така всъщност r -те проверочни разряди създават един **информационен излишък** $R = 1 - \frac{k}{n} = \frac{r}{n}$, необходим за да се защитят символите на данните, които нямат свой излишък. Колкото r е по-голямо, толкова излишъкът е по-голям, броят на забранените комбинации е по-голям и вероятността при някаква грешка по импулс дадена разрешена комбинация да се превърне в забранена е по-голяма, т.е. толкова нараства вероятността грешките да бъдат открити. Голямо r и дълги кодови комбинации означава по-бавно предаване на отделните кодирани символи, затова един шумоустойчив код е толкова по-добър, колкото повече грешки открива с по-малък излишък.

Параметри на шумоустойчивите кодове

Кодово разстояние (Хеминг-дистанция) d между две кодови комбинации – броят разряди по които те се различават. Изчислява се като се сумират по модул 2 двете комбинации и се изброят единиците в сумата

Пример:

$$\begin{array}{r} a_i = 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \\ \oplus b_i = 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \hline \end{array}$$

$$d = 1+1+0+0+0+0+1+1+1 = 5$$

Колкото Хеминговото разстояние между две комбинации е по-голямо, толкова по-трудно (с повече грешки по импулс) едната комбинация може да се превърне в другата.

Минимално кодово разстояние d_{min} на един код се нарича най-малкото от всички кодови разстояния между разрешените комбинации на кода. То показва най-слабото звено на кода – разрешените комбинации, които най-лесно (с най-малко грешки по импулс) могат да се превърнат от една разрешена в друга и така грешката да остане неоткрита.

Ако означим с $\sigma_{откр}$ **кратността (броя) на гарантирано откриваните** от даден код грешки по разряд, тя се свързва с минималното кодово разстояние така:

$$\sigma_{откр} = d_{min} - 1,$$

т.е. ако искаме един шумоустойчив код гарантирано да може да открива грешки по импулс с кратност по-малка или равна на $\sigma_{откр}$, той трябва да има минимално кодово разстояние

$$d_{min} = \sigma_{откр} + 1,$$

Ако означим с $\sigma_{кор}$ **кратността (броя) на гарантирано откриваните и коригирани** от даден код грешки по разряд, тя се свързва с минималното кодово разстояние така:

$$\sigma_{кор} = \frac{d_{min}}{2} - 1$$

т.е. за да може да коригира грешки по импулс с кратност по-малка или равна на $\sigma_{кор}$, той трябва да има минимално кодово разстояние

$$d_{min} = 2\sigma_{кор} + 1.$$

Това означава, че за коригиране на единични грешки е нужно $d_{min} = 3$, а за единични и двойни – $d_{min} = 5$ и т.н., т.е. коригирането като много по-сложна процедура изисква повече от два пъти по-голям ресурс. **При предаване на данни се използват по-често кодове само откриващи грешки**, а корекциите се постигат с използване на обратна връзка и повторение.

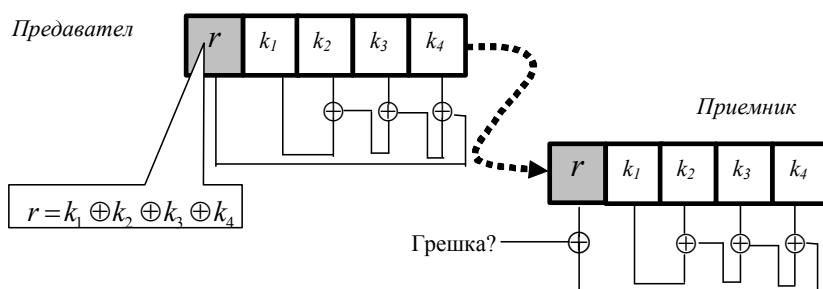
Кодове с корекция на грешки се използват само за защита на бързоотареещи данни (напр. при управление на бързодвижещи се обекти), при които няма време за обратни връзки.

Известни са голям брой шумоустойчиви кодове, класифицирани в учебника. Някои от тях, като код с проверка по четност, са много прости (имат само един проверочен разряд) и се реализират с прости устройства. Други, като **цикличните кодове (CRC – Cyclic Redundancy Check)**, се реализират по-сложно, но са много ефикасни. Обикновено при шумоустойчивите кодове проверочните разряди се изчисляват от информационните чрез разни хитроумно измислени процедури.

Задача на шумоустойчивото кодиране: постигане с минимален излишък на максимална откриваемост на грешки

Пример – код с проверка по четност

При този код към k на брой информационни разряди се добавя само един проверочен ($r=1$), чиято стойност се изчислява като сума по модул 2 на всички информационни разряди. Така сумата по модул 2 на всички разряди в комбинацията става нула. Ако при предаването възникнат грешки с нечетна кратност (единични, тройни, петорни), те ще нарушат четността и след сумиране на всички разряди в приемната страна, сумата няма да е нула.



Ако наречем тази проверка **надлъжна**, би могло известен брой от m комбинации да се запишат една под друга и за всяка колонка разряди да се въведе също проверка по четност с по един допълнителен разряд. Така се постига и **напречна проверка по четност** за този блок от m комбинации.

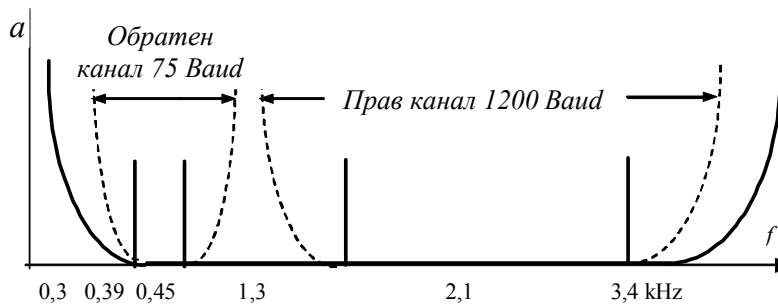
Модулации, използвани при предаване на данни

Многократни дискретни модулации – разгледани в Тема 5. Чрез тях се постига предаване на по-голямо от 1 bit количество информация с всеки предаден импулс.

Фазови коректори – фиксирани и адаптивни

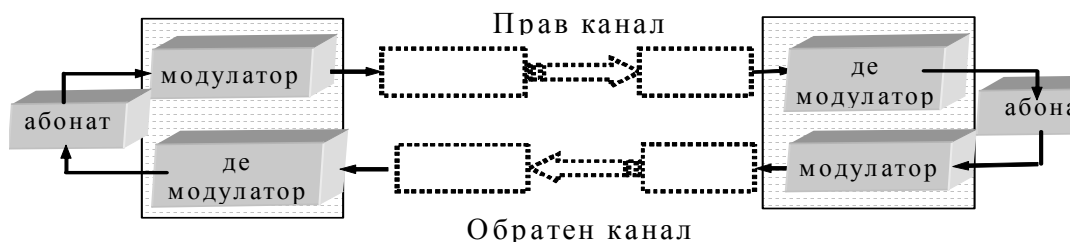
Фиксирани коректори – каскадно свързани фазови звена, линеаризиращи ФЧХ на канала и намаляващи фазовите изкривявания. **Адаптивни коректори** - самонастройват се по параметрите на приемания сигнал. Реализират се с адаптивни цифрови вериги.

Предаване на данни с ниски скорости



Понеже по обратния канал се предава информация с много ниска скорост (потвърждения за вярно приемане или молба за повторение), този канал е теснолентов.

Модеми

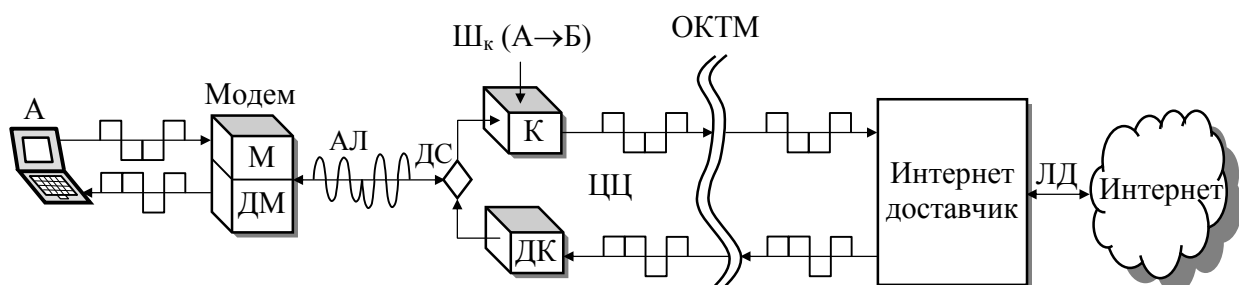


Място на модемите в телекомуникационния канал

През изминалите 50 години ITU е нормирало огромен брой модеми за скорости на предаване от 50 Baud (двоични сигнали) до 56 kbit/s (с много-нивови сигнали). От тях в момента интересни са само последните

Високоскоростни модеми за предаване на данни по абонатни линии

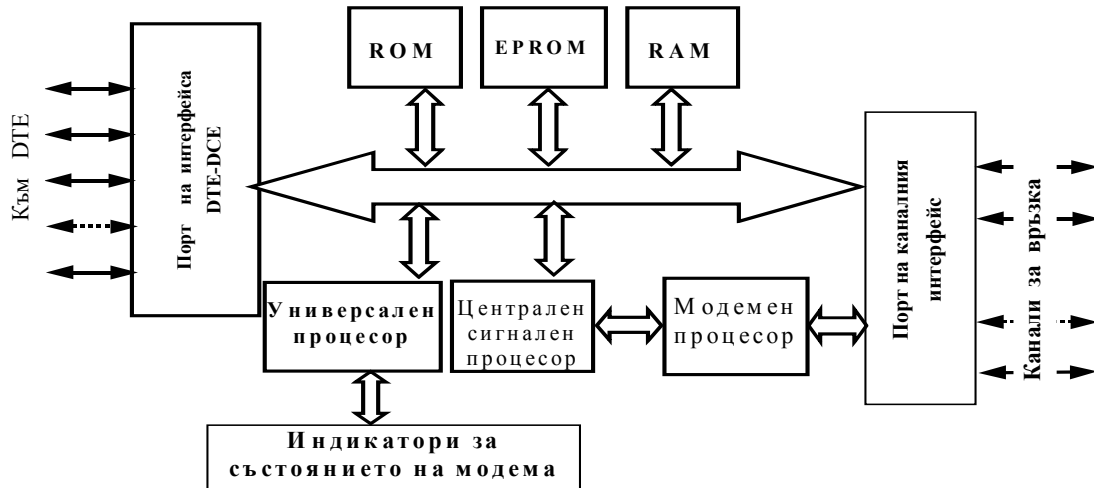
За доставчиците на Internet, които имат качествена връзка с ОКТМ, се използват високоскоростни цифрови модеми със скорост 56 kbit/s. Такъв например е модемът V.90, който в България „остаря“ бързо поради масовото предлагане на Internet-доставка по т. нар. „квартални LAN“, а по-късно и по мрежите на кабелните телевизии.



Свързване с модем към Интернет със скорост до 56 kbit/s

AL – абонатна линия; $ДК$ – декодер; DM – демодулатор; $ДС$ – диференциална система; K – кодер; $ЛД$ – линия за данни; M – модулатор; $ОКТМ$ – обществена комутируема телефонна мрежа; $ЦЦ$ – цифрова централа; $Ш_k(A \rightarrow B)$ – шум от квантуване, който ограничава скоростта на предаване от A към B

Интелигентни модеми (описани в учебника)



Цифровизация на абонатните линии

ISDN – осигурява от 64 kbps до 144 kbps по абонатната кабелна двойка;
xDSL (Digital Subscriber Line – Цифрова абонатна линия)– в края на 80-те години започват да се разработват различни системи за цифровизация на абонатния тракт и се достигат изключително високи скорости на предаване.

ADSL (Asymmetric DSL) – (препоръка G.992.1 на ITU-T). Използва цифрова многотонална модулация **DMT** и осигурява предаване със скорости до 6 Mbps (за дължини на абонатната линия под 5 km) в посока към абоната и до 600 kbps в посока от абоната. Тази асиметрия в стойностите на скоростите определя името „Асиметрична”. Съществува опростена версия на този метод, наричана **ADSL G.lite**, при която максималните скорости са по-ниски – до 1.5 Mbps в посока към абоната и обикновено 256 kbps до 640 kbps в посока от абоната.

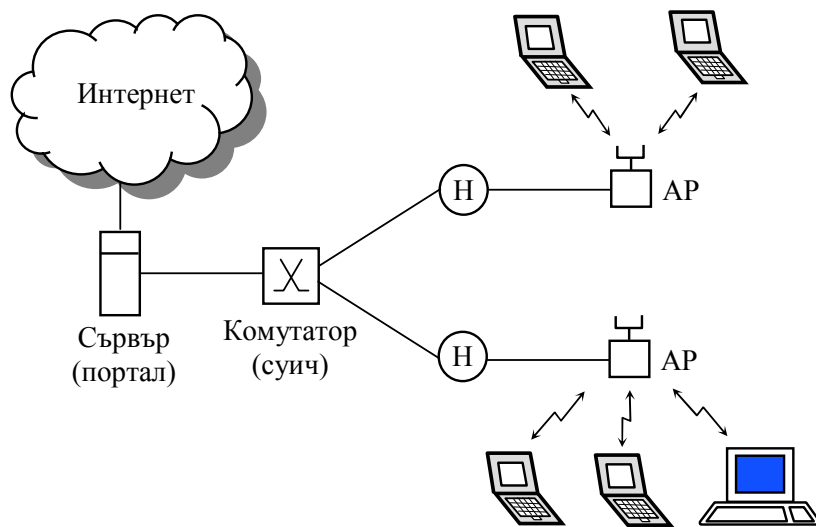
SDSL – осигурява еднакви скорости на предаване от по 2.3 Mbps в двете посоки (Symmetrical) по една усукана абонатна кабелна двойка на разстояния до 5-6 km.

HDSL (High-bit-rate DSL)(високоскоростен DSL) – осигурява също еднакви скорости на предаване от по 2 Mbps в двете посоки на разстояния до към 4 km, но изисква две абонатни кабелни двойки и е предназначен за организации, а не за битови абонати.

VDSL (Very-high-bit-rate DSL) – това е асиметрична версия и опит да се организира предаването не само на данни, но и на няколко т.в. канали, затова покриваните разстояния са много по-къси. За разстояния до към 1.5 km се достига до 13 Mbps в посока към абоната и до 1.5 Mbps от абоната. При разстояния под 300 m (каквито абонатни телефонни линии няма), може да се работи с 55 Mbps в посока към абоната и до 15 Mbps от абоната.

Съществуват и редица други стандарти, като SHDSL, RADSL и др.

Безжичен фиксиран достъп WLAN



Конфигурация на WLAN мрежа

AP – точка за достъп (*Access Point*); Н – хъб

Работи по стандарт IEEE 802.11, наричан често WiFi (по подобие на HiFi, използван за обозначаване на висококачествено аудио. Той минава през вариантите 802.11a, 802.11b, а вече най-популярен е 802.11g. Днес почти няма производител на лаптоп, който да не влага в него платка за WLAN 802.11. От друга страна точки за WiFi достъп има вече навсякъде, където се струпват хора – летища, гари, хотелски лобита, университети. Стандартът 802.11 допуска и т.нар. *ad hoc* мрежи (*ad hoc* – “за момента” от латински), които се организират на места, където няма инсталирани точки за достъп AP и компютрите се свързват директно помежду си.

Безжичен MAN (IEEE 802.16)

Стандартът 802.16, познат с разговорното име **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* – световно съвместим микровълнов достъп) е за ширококолов достъп, който може да се нарече и безжичен MAN. В България въвеждането на WMAX мрежи е под името “от точка до много точки” **PT2MP** (*Point-to-multipoint*) и вече има раздадени 5 лицензи. Това е друга фиксирана безжична връзка за достъп. Докато 802.11 допуска някаква мобилността на абонатите, 802.16 е инструмент за покриване на град или квартал с фиксирана ширококоловата връзка и конкуриране на кабелния абонатен достъп. За целта се инсталира предавател, който да покрива много по-голямо разстояние – няколко километра при 802.16, в сравнение с покритие от няколко десетки или стотина метра при 802.11.

Други съществени разлики са, че WiMAX има повече абонати, нужда от по-широка лента на връзката и като следствие системата се нуждае от по-голям обхват в честотния спектър. Освен това, въпросът с качеството на обслужване QoS е много по-важен при WiMAX, поради извършване на услуги в реално време с домашни и бизнес-абонати като реч, видео (TV).

Голямата разлика между фиксирани и мобилни (напр. клетъчни) безжични мрежи е, че при вторите, поради ограниченията върху обема и теглото на мобилния абонатен терминал, се работи с много маломощен предавател. При фиксираната безжична мрежа това ограничение отпада. Основният стандарт 802.16 не предвижда работа с мобилни абонати и осигурява връзка само в зоната на пряка видимост. В последните 2-3 години се разработиха няколко версии (802-16e, 802-16j и др.), които са и за мобилни абонати, а чрез релейно предаване постигат и връзки извън зоната на пряка видимост.

Предаване на данни в клетъчни мобилни мрежи

Възможностите за предаване на данни, респ. осигуряване на достъп до Internet, в клетъчните мобилни мрежи са много различни при различните поколения мобилни мрежи (GSM2, GSM2.5, GSM3, GSM4) затова те ще бъдат обсъдени по-подробно когато се изучават тези мрежи в теми 13 и 14. Тук ще ги изброим накратко.

Тъй като скоростта на предаване на данни в GSM е много ниска – едва 9.6 kbit/s – е разработен вариант HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data), което е нещо като GSM поколение 2G+ и с него се постигат скорости до към 14.4 kbit/s, но само при GSM, работещ в обхват 1800MHz.

Съществува вариант GPRS (General Packet Radio Service), който се разглежда като GSM поколение 2.5G. При него теоретичната скорост на предаване на данни е 171.2 kbit/s, реалистично тя е ограничена до 115.2 kbit/s, а на практика се работи с 30-40 kbit/s.

Друг вариант на 2.5 G е т.нар. EDGE (Enhanced Data-rates for GSM Evolution), при който се достигат скорости до 473.6 kbit/s.

В UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), което е трето поколение GSM, скоростите при бързо движещи се абонати са до 128 kbit/s, при пешеходни скорости – до 384 kbit/s, а при неподвижни абонати – даже до около 2 Mbit/s

HSPA (High Speed Packet Access) принадлежи на 3.5G генерацията и при него се говори за скорости до 7.2 Mbit/s.