

МНОГОАНТЕННИ ТЕХНОЛОГИИ, ИЗПОЛЗВАНИ В LTE

Пламен Кътев, Вера Гугова
plamen80@abv.bg, vgugova@abv.bg

ВТУ „Тодор Каблешков”, София 1574, ул. „Гео Милев” 158
БЪЛГАРИЯ

Резюме: *Технологията LTE, за разлика от WiMAX, е много по-близка до съществуващите 3G мрежи и вероятно в бъдеще ще е много по-разпространена. В момента повечето оператори са в началото на разработки за преминаване към този стандарт. Също така LTE бележи много предимства пред WiMAX, от гледна точка на скорост на предаване на данни и времезакъснение. За подобряване на работата на комуникационната система и за достигане на ключовите цели на LTE технологията (максимална скорост на пренос на данни, максимален брой потребители за клетка и минимална интерференция), се използват множество антени в предавателната и в приемната страна.*

В настоящия доклад се представя обща информация за съществуващите многоантенни технологии в LTE стандарта. Разглеждат се многоантенните конфигурации за LTE стандарта за низходяща посока (от базовата станция към терминалното устройство). Разгледани са в общи линии основните схеми на предаване на информацията – SISO (Single Input Single Output), SIMO (Single Input Multiple Output), MISO (Multiple Input Single Output) и MIMO (Multiple Input Multiple Output). Поддържаните LTE схеми, представени в настоящия доклад, са класифицирани в две основни групи, в зависимост от броя на потоците информация, които се предават. Тези две групи, са transmit diversity и spatial multiplexing. При предаването на един поток информация (transmit diversity), се цели да се увеличи обхвата, а при предаването на множество потоци от информация (spatial multiplexing), се цели да се увеличи скоростта на пренос на данни. Към transmit diversity схемите, спадат Пространствено Честотното Блоково Кодиране – SFBC (Space Frequency Block Coding) и Cyclic Delay Diversity схеми. В края на доклада са разгледани конфигурации, базирани на прекодиране (precoding-based schemes), при които с обратна връзка се избира кодовата дума с която да се прекодира входния сигнал. Целта на precoding-based схемите, е да се постигне формиране на Диаграмата на Насочено Действие в комбинация с пространственото мултиплексиране, както и за намаляване на взаимната интерференция на предаваните сигнали в приемната страна. Докладът е кратък обзор на съществуващите технологии, поради обширния материал, който включват.

Ключови думи: *пространствено мултиплексиране, интерференция*

1. УВОД

Чрез използване на множество антени в приемната и предавателната страна, и подходяща цифрова обработка, може значително да се подобри работата на комуникационната радио система. Някои ключови цели на LTE технологията, като например максималната скорост за пренос на данни или осигурения брой потребители за една клетка, не могат да бъдат осъществени без използването на схеми с множество антени. Различните пътища на радиовълните, могат да бъдат използвани по различни начини, за да се постигне

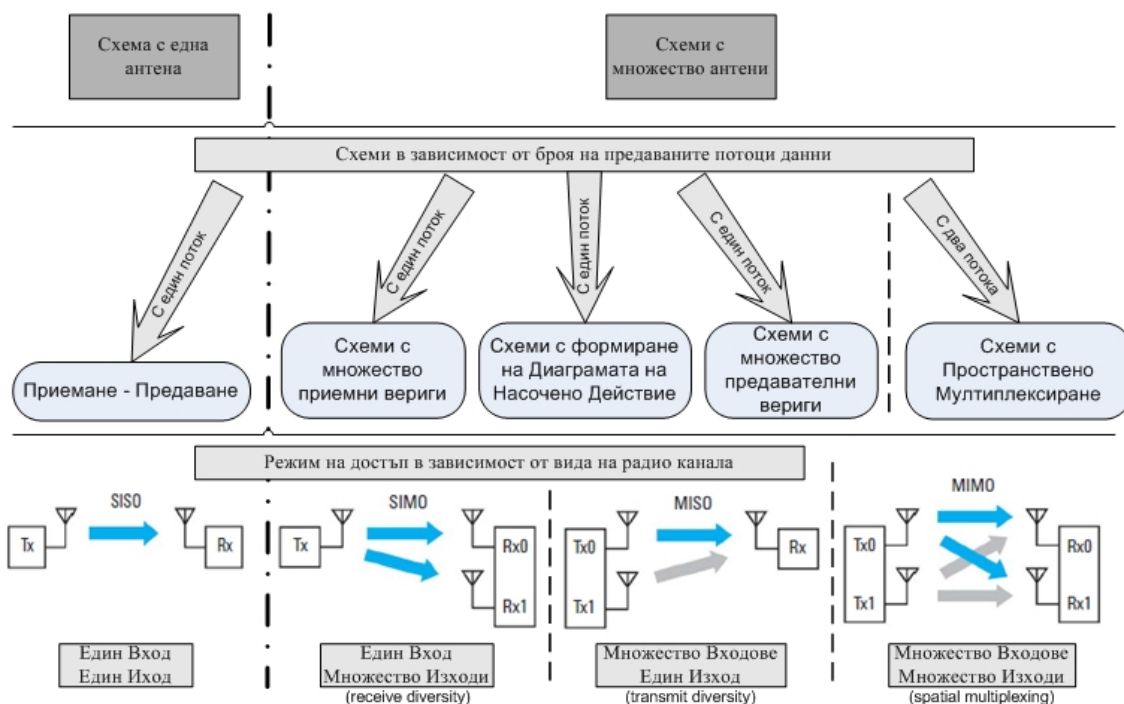
пространствено несходство (spatial diversity). Пространственото несходство може да се постигне, чрез използването на множество антени както в приемната, така и в предавателната страна. Основната идея на пространственото несходство, е да се осигури приемната страна с множество копия на предавания сигнал, с цел да се намали затихването в радио канала. В зависимост от това къде се използват множеството антени, реализациите са свързани съответно с приемната или предавателната страна. Като цяло технологиите с множество антени се използват за разширяване на радиуса на покритие, както и за осигуряване на здрава връзка между предавателната и приемната страна. Множеството антени се използват също така и за да формират диаграмата на насочено действие, като електромагнитната вълна се максимизира в определена посока, увеличавайки отношението сигнал/шум SINR, което от своя страна рефлектира върху капацитета и покритието на системата. Следователно, схемите използващи множество антени можем да разделим на две основни групи:

- *приемо/предавателни схеми с пространствено разнасяне;*
- *схеми, формиращи основния лъч.*

И при двата типа схеми основната цел, е да се повиши отношението сигнал/шум SNR в приемната страна. Използването на пространствено мултиплексиране, позволява да се предават множество потоци данни, довеждайки до увеличаване на скоростта на пренос на данни и спектралната плътност. В зависимост от това, дали предавателната част се нуждае от информация за канала, схемите може да се групират в две основни групи:

- не се нуждаят от информация за канала;
- необходима е информация за канала;

На Фигура 1, е представена кратка класификация на методите за предаване на информация. Схемата един вход/един изход SISO (Single Input Single Output) е основна при предаване на информация. При схемата един вход/множество изходи SIMO (Single Input Multiple Output), се използва един предавател, следователно има един информационен поток, който постъпва на входа на множество приемни вериги. Това спомага за запазване целостта на приеманите данни, където отношението сигнал/шум е твърде малко, поради затихването от многопътното разпространение на сигналите. Единственото предимство при тази схема идва от намаленото препредаване на информацията. Конфигурацията множество входове/един изход MISO (Multiple Input Single Output) е технология с множество предавателни вериги. При LTE, Пространствено Честотното Блоково Кодирание – SFBC (Space Frequency Block Coding), се използва за подобряване на устойчивостта на сигнала, при условия на затихване. Технологиата множество входове/множество изходи MIMO (Multiple Input Multiple Output) е представена с два предавателя и два приемника, и е още известна като схема с пространствено мултиплексиране. Всеки приемник, получава мултиплексиран сигнал, който е комбинация от сигналите на изходите на предавателите. На базата на техники за оценка на канала, приемниците използват математически матрици, за да отделят двата потока данни и да се демодулира информацията. При идеални условия, скоростта на предаваните данни ще бъде удвоена, което от своя страна трябва да бъде заплатено с по-добри изисквания към отношението сигнал/шум SNR, отколкото при SISO. На практика удвояване на скоростта не може да се постигне, но се забелязва значителното и увеличение.



Фиг. 1

Основната MIMO конфигурация при LTE технологията се състои от две антени в базовата станция и две антени в оборудването на потребителя. Други конфигурации, позволяват използването на 4 предавателни и 4 приемни антени.

В доклада се разглеждат и сравняват различните технологии, използващи множество антени, поддържани в LTE. Те са класифицирани в две основни групи в зависимост от потоците данни, които се предават, както беше споменато по-горе, т.е.:

- схеми, при които се предава само един поток от данни и основната цел е да се увеличи покритието.
- схеми с пространствено мултиплексиране, при които се предават множество потоци данни едновременно, със цел да се увеличи скоростта на пренос на данни.

2. ВИДОВЕ КОНФИГУРАЦИИ В LTE, ИЗПОЛЗВАЩИ МНОЖЕСТВО АНТЕНИ

2.1. СХЕМИ С МНОЖЕСТВО ПРЕДАВАТЕЛНИ ВЕРИГИ

Схемите с множество предавателни вериги MISO, известни още като схеми с разнесено предаване, се базират на използването на множество антени в предавателната част за постигане на пространствено разнасяне при използването на един поток данни. При тези схеми, основният принцип е да се осигури приемната страна с множество копия на предавания сигнал и по този начин да се повиши SNR. Тези схеми се използват основно, когато условията на канала за пренос са лоши. Двете разновидности при тези схеми се свързват с използвания метод на пространствено разнасяне на сигнала. Едната разновидност включва предаването на различни версии на сигнала, чрез използването на различни антени. При втората се използва информацията за низходящия канал, за да се провери дали фазата и амплитудата на сигналите са правилно регулирани. В този случай говорим и за *регулиране на диаграмата на насочено действие*. За да се осигури пространственото разнасяне е необходимо да има ниска взаимна корелация между каналите, асоциирани с различните предавателни антени, като например относително голямо разстояние между предавателите.

2.1.1. ПРОСТРАНСТВЕНО ЧЕСТОТНО БЛОКОВО КОДИРАНЕ (SFBC)

Пространствено честотното блоково кодиране SFBC при LTE, използва като основа схемата на *Alamouti*, която е приложена в честотната област, вместо във времевата. Схемата на *Alamouti* (Фиг.2), се използва за прекодиране и дава връзката между входния и изходния сигнал.

$$\begin{array}{c} \text{Антенa 0} \uparrow \left[\begin{array}{cc} x^{(0)}(i) & x^{(1)}(i) \end{array} \right] \\ \text{Антенa 1} \uparrow \left[\begin{array}{cc} -(x^{(1)}(i))^* & (x^{(0)}(i))^* \end{array} \right] \\ y(2i) \quad y(2i+1) \end{array}$$

Фиг. 2: Схемa на Alamouti

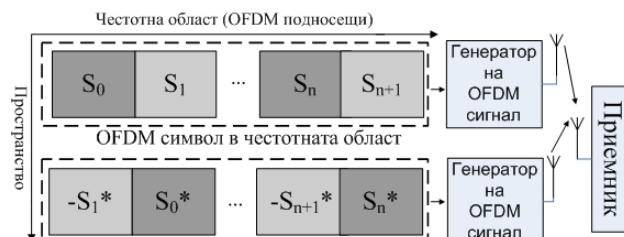
С (*), е дадена операцията комплексно спрягане.

Връзката между входа и изхода при тази схема е:

$$(1) \begin{bmatrix} y^0(2i) \\ y^1(2i) \\ y^0(2i+1) \\ y^1(2i+1) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & j & 0 \\ 0 & -1 & 0 & j \\ 0 & 1 & 0 & j \\ 1 & 0 & -j & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Re}\{x^0(i)\} \\ \text{Re}\{x^1(i)\} \\ \text{Im}\{x^0(i)\} \\ \text{Im}\{x^1(i)\} \end{bmatrix}$$

,където x и y представляват входният и изходният сигнал.

Фигура 3, илюстрира SFBC за конфигурация от две антени в предавателната част. Тук всяка двойка символи (комплексно модулирани), означени със символа S, е асоциирана с двойка честотни ресурси (двойка OFDM подносещи честоти).



Фиг. 3: Пространствено Честотно Блоково Кодирање (SFBC)

2.1.2. РАЗНАСЯНЕ НА ПРЕДАВАНИЯ СИГНАЛ ЧРЕЗ ВЪВЕЖДАНЕ НА ЦИКЛИЧНО ЗАКЪСНЕНИЕ

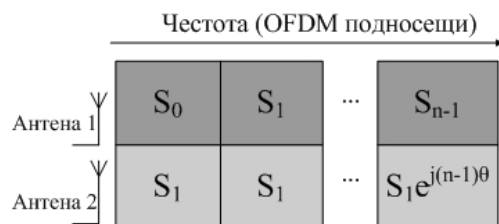
Като цяло идеята на цикличното закъснение, се състои в предаването на един и същ сигнал по различни антени с различни относителни закъснения (Фиг.4).



Фиг. 4: Пример за система с две антени със циклично отместване с две антени

Относителното закъснение, може да бъде използвано, за да се преобразува разнасянето в пространството в честотно разнасяне. Разширени конфигурации на Фиг.4, може да бъдат постигнати с добавянето на различни отмествания на всяка антена. Схемите със циклично

отместване, се използват съвместно с предавателни схеми като OFDM. Цикличното отместване във времевата област съответства на честотно зависимо фазово отместване, илюстрирано на Фиг. 5.



Фиг. 5: Фазово отместване на предаваните модулирани символи във втората антена

2.2. СХЕМИ С ПРОСТРАНСТВЕНО МУЛТИПЛЕКСИРАНЕ

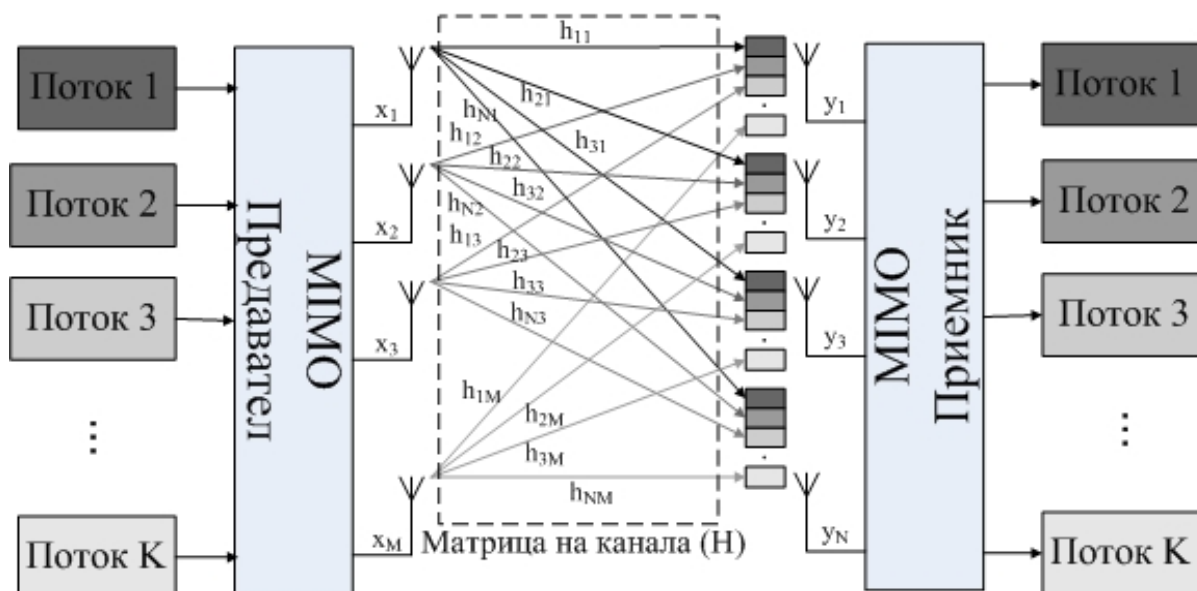
Целта на схемите с пространствено мултиплексване – MIMO технологията е увеличаване на скоростта на пренос на данните. Това се постига, чрез предаването на различни потоци данни по множество паралелни информационни канали. За целта, нека приемем че информационните потоци се предават в системата с M предаватели и N приемници. Системата осигурява L на брой паралелни канали, където $L = \min(M, N)$. На Фигура 6, е показана схема на пространствено мултиплексване.

Паралелно предаваните сигнали от предавателните антени, предизвикват интерференция с всеки от останалите в приемната страна. На всеки приемник се получава копие от излъчвания сигнал. В приемната страна е необходимо MIMO преобразуване, за да се подтиснат смущаващите сигнали. Пространственото мултиплексване е силно обусловено от каналната матрица H , чийто ранг определя броя на паралелните канали за надеждно предаване на информацията. Ако се приеме, че R е ранга на матрицата H , а K е броят на мултиплексваните потоци данни, то K трябва да изпълнява следното условие:

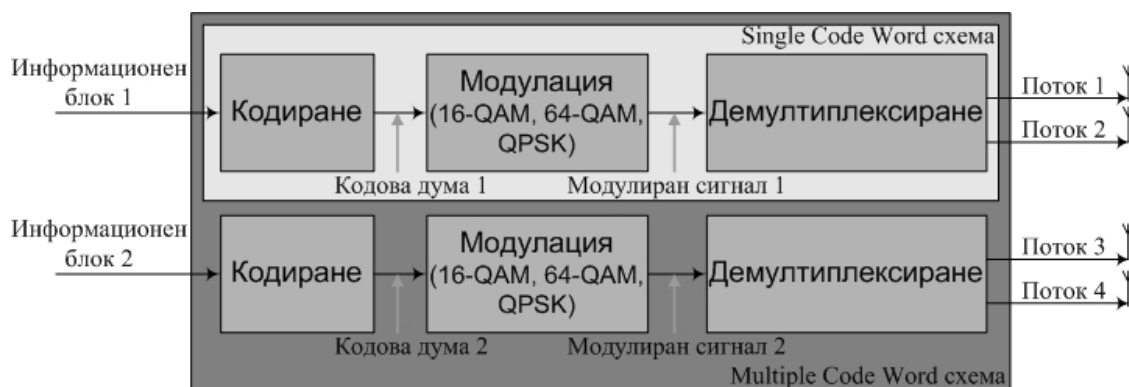
$$(2) \quad K \leq R \leq L$$

Т.нар. мултиплексиращо усилване е ограничено от ранга на матрицата, като при условие че имаме пълен ранг на матрицата ($R=L$), се достига максимално усилване.

Схемите с пространствено мултиплексване, могат да бъдат класифицирани в две основни групи, в зависимост от това дали транспортните блокове са кодирани с една или повече кодови думи – SCW и MCW. На фигура 7, е представена обобщена блокова схема на SCW и MCW. В LTE пространственото мултиплексване MCW, се прилага с две кодови думи и четири потоци данни.



Фиг. 6: Пространствено мултиплексиране на различни потоци данни през различни предаватели

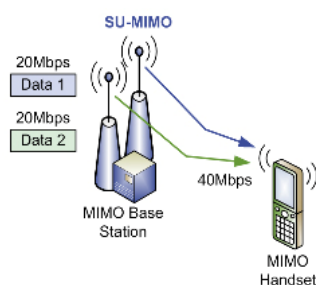


Фиг. 7: Обобщена блокова схема на SCW и MCW

Броят на мултиплексираните потоци е ограничен до R на брой, а позволени са само две кодови думи.

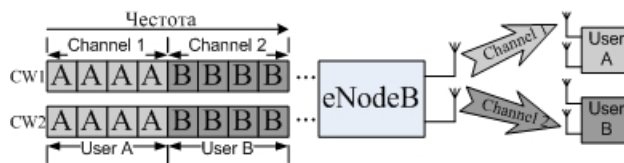
2.2.1. МУЛТИПЛЕКСИРАНЕ С ПРОСТРАНСТВЕНО РАЗДЕЛЯНЕ И ЕДИН ПОТРЕБИТЕЛ – SU-MIMO

Основната цел на SU-MIMO, е да се осигури максимална скорост за пренос на данни. Това се постига, чрез използването само на една честотна лента, т.е. предават се две кодови думи на една и съща честота за всеки отделен потребител. На Фиг. 8, е представена принципна схема на SU-MIMO технология.



Фиг. 8: Принципна схема на SU-MIMO

Ако един поток пренася информация със скорост 20Mbps, то при SU-MIMO схемата, която се отнася към схеми тип 2x2 (2 предавателни антени и 2 приемни антени), то в приемната страна ще се приеме информацията със скорост 40Mbps. Трябва да се отбележи, че реализацията на конфигурация 4x2, ще доведе до четирикратно увеличение на скоростта в приемната страна, но това не се практикува, поради увеличение на изчисленията и в цената за реализация.

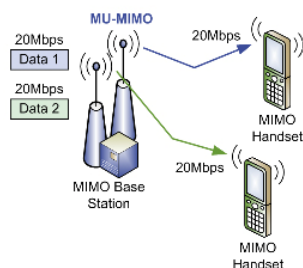


Фиг. 9: Принцип на действие на SU-MIMO

Както се вижда от Фиг. 9, две кодови думи (CW1 и CW2), се предават на една и съща честота. Мобилният терминал докладва за индикаторите за качеството на канала за CW1 и CW2, което се използва за настройка на скоростта на кодиране и модулация. При SU-MIMO, се използва ефикасно потушаване на интерференцията в приемната страна, което позволява ефикасно възстановяване на различни потоци данни. Технологиата SU-MIMO, увеличава пропускателната способност в центъра на клетката.

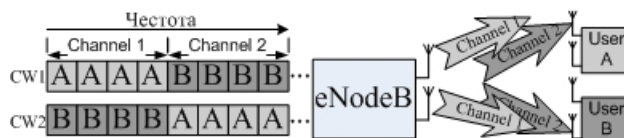
2.2.2. МНОЖЕСТВЕН ДОСТЪП – MU-MIMO

Когато множество потребители използват един и същ радио ресурс, чрез използването на множество антени, се говори за Множествен Достъп с Пространствено Разделяне – *Space Division Multiple Access* (SDMA), още известно като MU-MIMO (*multiuser MIMO*). На Фиг. 10, е показана принципната схема на MU-MIMO технология.



Фиг. 10: Принципна схема на MU-MIMO

На фиг. 11, е показан принципа на действие на MU-MIMO.



Фиг. 11: Принцип на действие на MU-MIMO

Както се вижда от Фиг. 11, потребителите А и В, си споделят един и същ радио ресурс. Съществува контрол на достъпа до преносната среда (MAC), чрез който по различни алгоритми кодовите думи се предоставят на различните потребители. Технологиата MU-MIMO, увеличава капацитета на системата (броят потребители на клетка).

2.2.2. ПРОСТРАНСТВЕНО МУЛТИПЛЕКСИРАНЕ БАЗИРАНО НА ПРЕДВАРИТЕЛНО КОДИРАНЕ

Основната идея на този вид антенни конфигурации, е че чрез обратна връзка се избира кодовата дума, с която да се кодира входния сигнал. Целта е да се намали взаимната интерференция на предаваните сигнали. Друга основна цел, е да се формира диаграмата на насочено действие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада са представени основни MIMO технологии, използвани в LTE. Използваните различни технологии, имат различни цели – по-висока скорост на пренасяне на информацията, по-голямо покритие, или по-голям брой потребители в клетката, но всички те са обединени от стремежа към ново поколение LTE клетъчни системи

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Savo Glisic, “4G Cognitive and Cooperative Broadband Technology”, John Wiley & Sons, 2007
- [2] Farooq Khan, “LTE for 4G Mobile Broadband”, Cambridge University Press, 2009
- [3] Borko Furht, “3GPP LTE Radio and Cellular Technology”, Taylor & Francis Group, 2009
- [4] Hendrik H. Berndt, “Towards 4G Technologies”, John Wiley & Sons, 2008
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

MULTIPLE ANTENNA TECHNOLOGIES, USED IN LTE

Plamen Katev, Vera Gugova

HST „T. Kableskov”, 1574 Sofia, 158 Geo Milev str
BULGARIA

Keywords: *spatial multiplexing, interference*

Abstract: *The technology LTE, unlike WiMAX, is much closer to the existing 3G networks and possibly in the future will be much more widespread. Currently, most operators are at the beginning of developments for transition to this standard. Also, LTE marks many advantages over WiMAX, in terms of speed of data transmission and time delay. To improve the performance of the communication system and achieve the key objectives of the LTE technology (maximum speed of data transfer, maximum number of users per cell and minimum interference), are used multiple antennas at the transmitter and the receiver.*

Discussed are generally the main schemes of transmission of information - SISO (Single Input Single Output), SIMO (Single Input Multiple Output), MISO (Multiple Input Single Output) and the MIMO (Multiple Input Multiple Output). The supported LTE schemes, presented in this report, are classified into two main groups, depending on the number of data streams, which are transmitted. These two groups, are transmit diversity and spatial multiplexing. The transmission of one stream (transmit diversity), aims to increase the range and the transmission of multiple data streams (spatial multiplexing), aims to increase the speed of data transmission. Transmit diversity schemes, include Space Frequency Block Coding - SFBC and Cyclic Delay Diversity schemes. At the end of this report are discussed configurations based on pre coding (precoding-based schemes), where with feedback is chosen code word with which to code the input signal. The purpose of precoding-based schemes, is to achieve the formation of directional diagram in combination with spatial multiplexing, and to reduce the mutual interference of signals transmitted in the receiver. The report is a brief overview of the existing technologies, due to the vast material which included.