

طرفت کانای MIMO

- طرفت کانای MIMO اگر تردید، در کانال از زمین

در سمتی که قبل طرفت کانای MIMO دارد حالتی که کانال یقینی باشد (یعنی ضرایب را به طور کامل بدانیم) بیان
 کنیم. در این بخش می خواهیم که در حالتی که کانال اگر تردید است، طرفت مناسب کنیم. برای این مقصد،
 از رابطه تیلور که می گیریم در سری تمام مقادیری که ضرایب کانال اضمحلال می کنند، می بینیم که سری را می توانیم

الف) حالت $N_T = 1, N_R \geq 2$ ، SIMO

$$C_{SIMO} = \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_s} \sum_{i=1}^{N_R} |h_{i1}|^2 \right)$$

در حالت یقینی

طرفیت در حالت
آرگودیت

$$\bar{C}_{SIMO} = \int_0^\infty \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_0} \kappa \right) P_x(\kappa) d\kappa$$

$$X \sim P_x(\kappa)$$

$$X = \sum_{i=1}^{N_R} |h_{i1}|^2$$

متغیر تصادفی

که در آن

آرگودیت $\{h_{i1}\}_{i=1}^{N_R}$ متغیرهای تصادفی گوسی مختلط، *Circularly symmetric* و *i.i.d* باشد (کابل به هم مرتبط)
فضای سفید باشد | میانگین هر دو را 1، طرفیت آرگودیت کابل *ST MC* با افزایش N_R افزایش پیدا می کند.

ب) حالت MISO ، $N_R = 1$ ، $N_T \geq 2$

در حالت یقینی، ظرفیت کانال از رابطه زیر به دست می آید

$$C_{MISO} = \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_T N_0} \sum_{j=1}^{N_T} |h_{1j}|^2 \right)$$

در حالت ازلردی

$\Rightarrow$

$$\bar{C}_{MISO} = \int_0^\infty \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_T N_0} x \right) P_x(x) dx$$

$$x \sim P_x(x)$$

$$x = \sum_{j=1}^{N_T} |h_{1j}|^2$$

که در آن

در حالت کانال به قدرت فضایی سفید ، نیز با افزایش N_T ، ظرفیت ازلردی افزایش می یابد اما این افزایش

طرفت بسیار زیاد است.

حالت MIMO (ج) $(N_T \geq 2, N_R \geq 2)$

در حالت یقینی ظرفیت کانال MIMO با رابطه زیر به دست می آید.

$$C_{MIMO} = \sum_{i=1}^r \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_T N_0} \lambda_i \right)$$

در حالت ابربرابر
 $\Rightarrow$

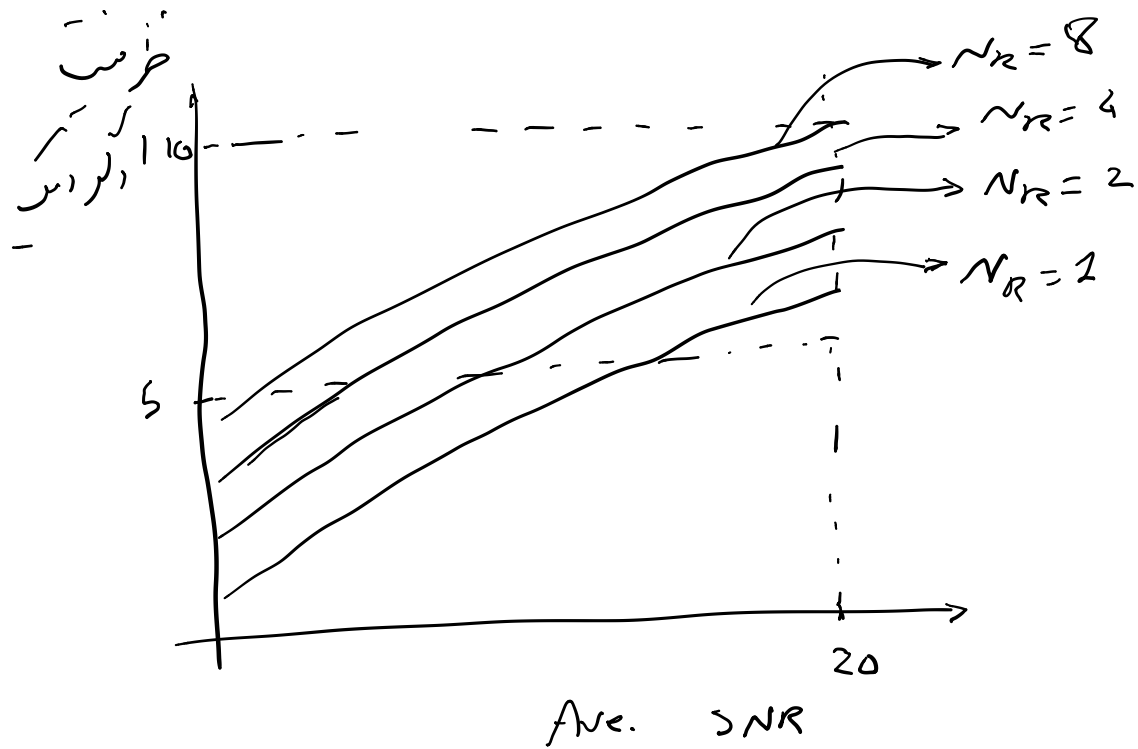
$$\bar{C}_{MIMO} = E \left\{ \sum_{i=1}^r \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_T N_0} \lambda_i \right) \right\}$$

$$= \underbrace{\int_0^\infty \dots \int_0^\infty}_{\text{در } r \text{ بعد}} \left(\sum_{i=1}^r \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_T N_0} \lambda_i \right) \right) P(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r) d\lambda_1 d\lambda_2 \dots d\lambda_r$$

در حالتی که کانال به صورت فضایی سفید باشد، با افزایش N_T و N_R ، ظرفیت آلودگی افزایش می یابد.

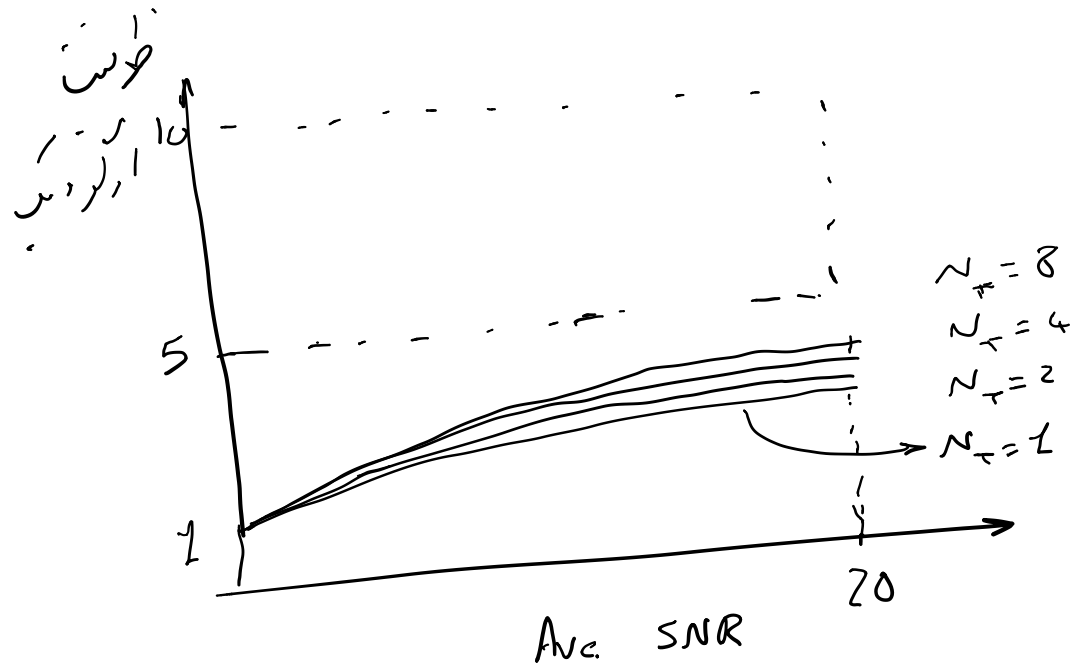
اگر $N_T = N_R$ باشد، در SNR های زیاد، افزایش ظرفیت به صورت خطی متناسب با N_T ($N_T = N_R$)

خواهد بود. نمودارهای زیر این مطالب را نشان می دهد.



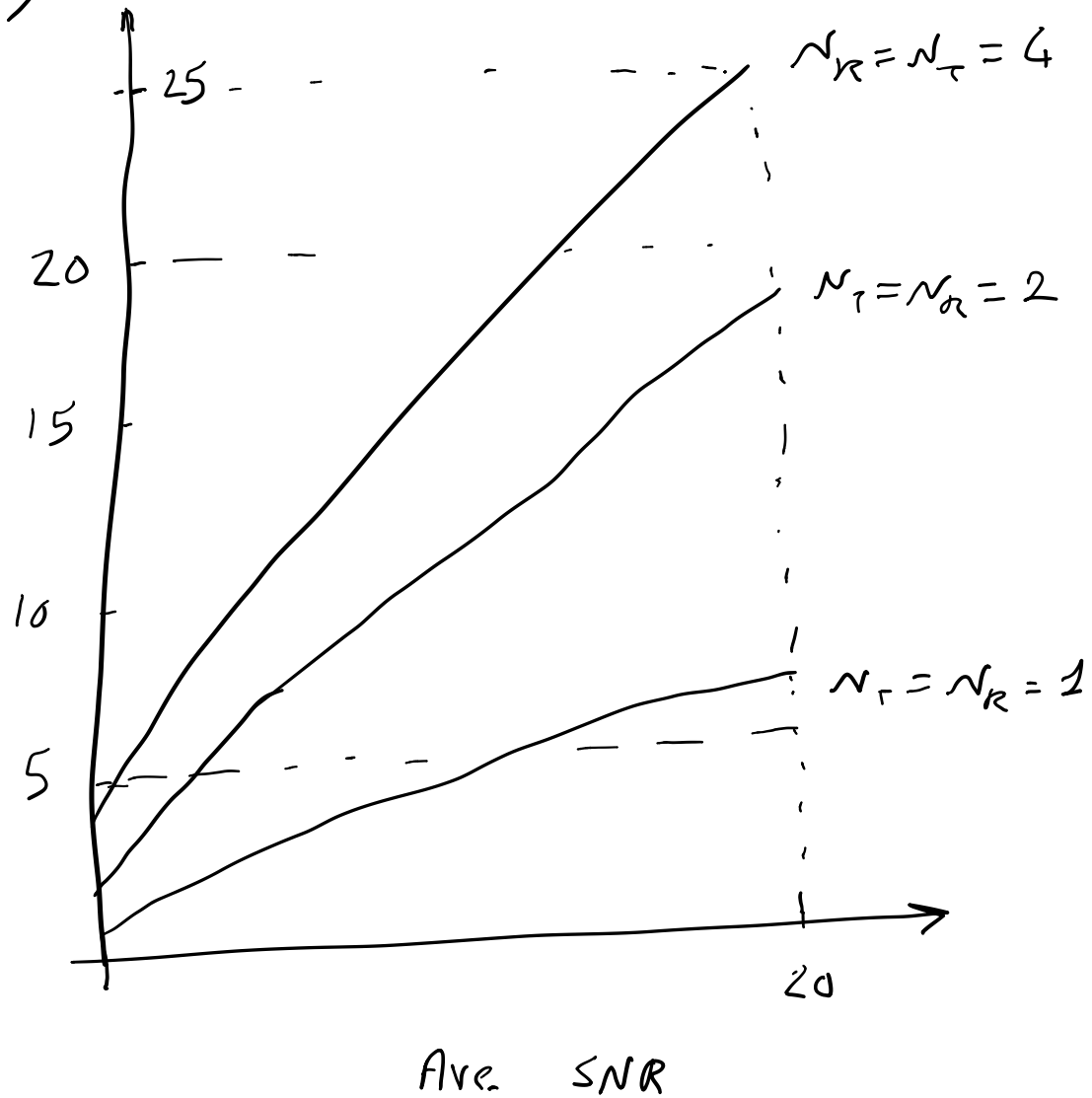
حالت SISO

حالت MISO



($N_T = N_R \geq 2$) MIMO

طرس آثر



MIMO حالت

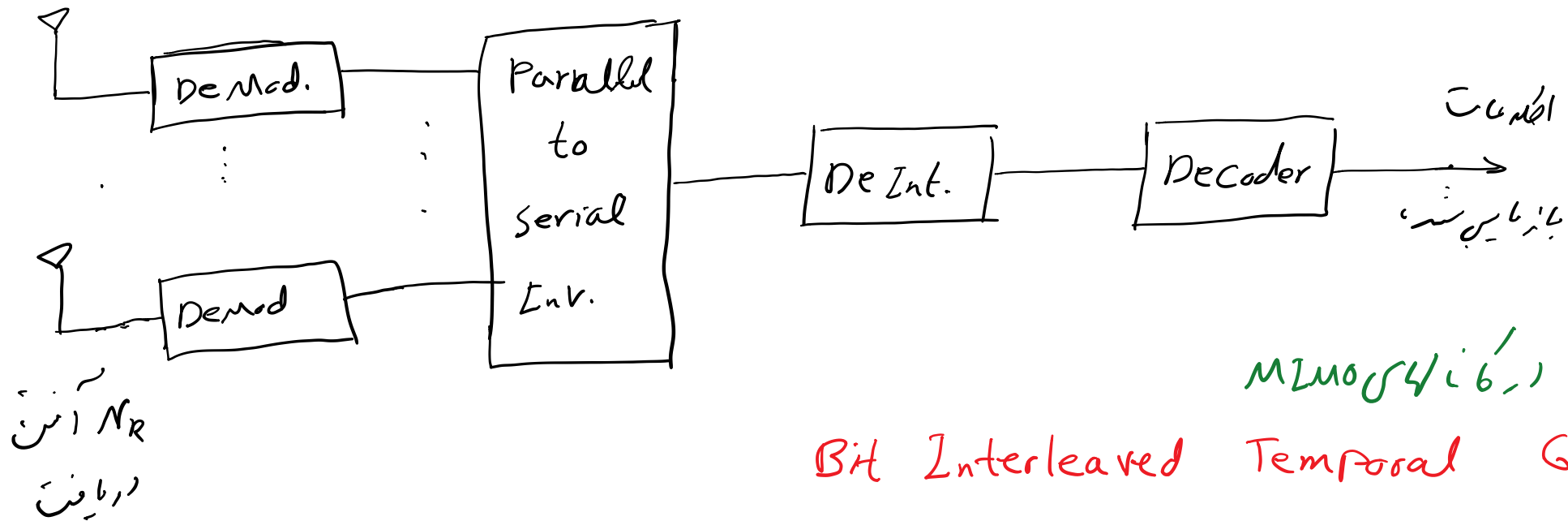
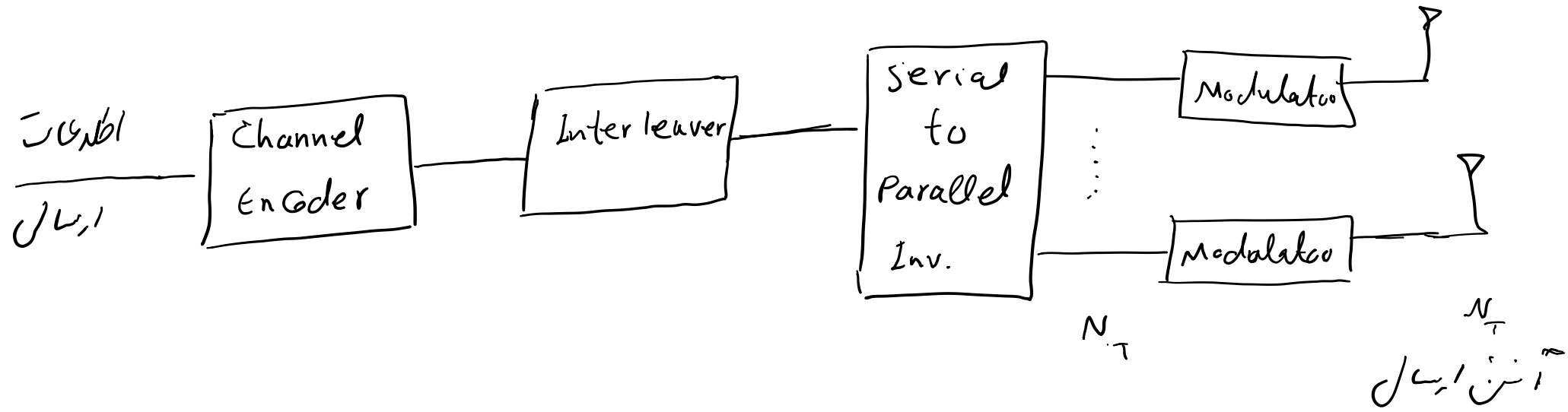
$$(N_T = N_R \geq 2)$$

کدنگ در سیستم های MIMO

برای افزایش مرتبه را بر رسی، استفاده بهتر از پهنای باند کانال، از کدنگ کانال در سیستم های MIMO استفاده می شود.
برای کدنگ کانال در سیستم های MIMO دو دیدگاه وجود دارد. دیدگاه اول استفاده از کدهای متداول کانال در
سیستم های MIMO است. دیدگاه دوم طراحی کدنگ خاص برای سیستم های MIMO که به آن کدهای فضای زمان
می گویند (Space-Time Coding)

دیدگاه اول - استفاده از کدهای کانال متداول در سیستم های MIMO

در این روش از کدهای متداول بلوکی یا کانال کدینگ در حالت STBC نیز استفاده می کنند، در حالت
چند آنتنی نیز مورد استفاده قرار می گیرند. شکل زیر مباحثه را طی فرستاده و گیرنده را در این حالت نشان می دهد.



کدینگ زمانی بیت درهم درگاه های MIMO

Bit Interleaved Temporal Coding

در این سیستم ها فرض می شود که $N_R \geq N_T$ و طول Interleaver به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته می شود به

طوری که بوبهای یک بلوک یا چند برابر طول Constraint length در کدهای کانال کد شدن استفاده در کدهای
دوم تا بوبهای مختلف، سیمپلای مستقلی داشته باشند.

در بررسی عملکرد این سیستم ها، کانال را به صورت فضای سفید در نظر می گیرند و ضرایب کانال را از بین فرض می کنند.
ماتریس H را نیز از رتبه کامل (full rank) در نظر می گیرند.

خود می دهد دلا تورد این سیستم ها به صورت زیر بیان می شود:

$$\gamma = H \underline{s} + \underline{n}$$

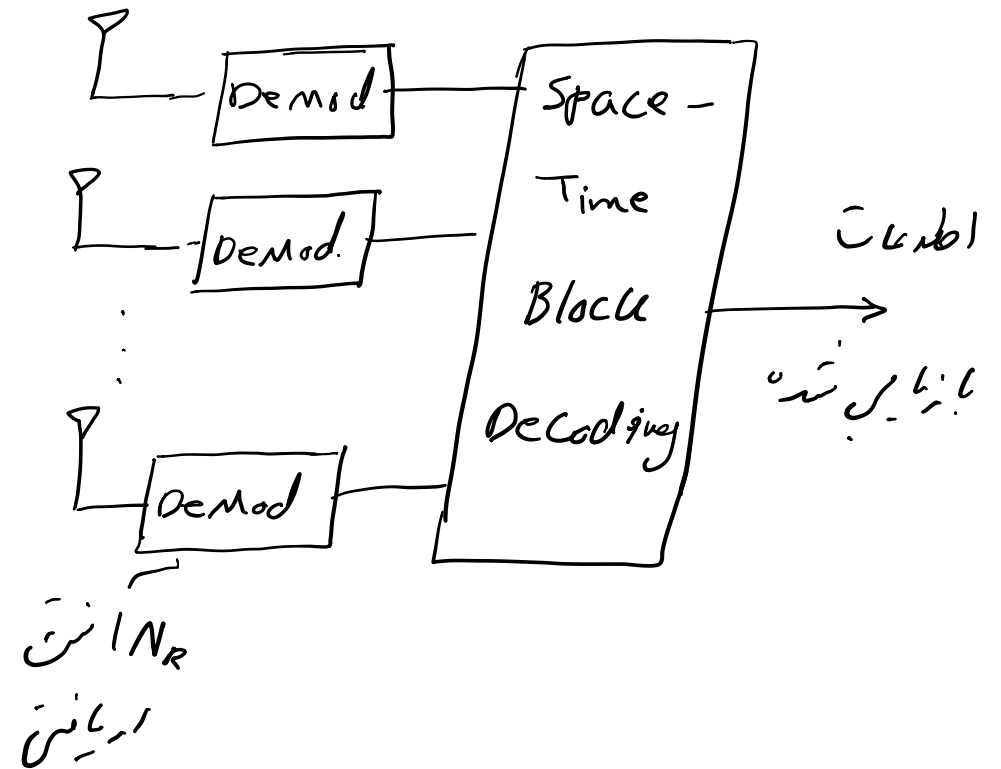
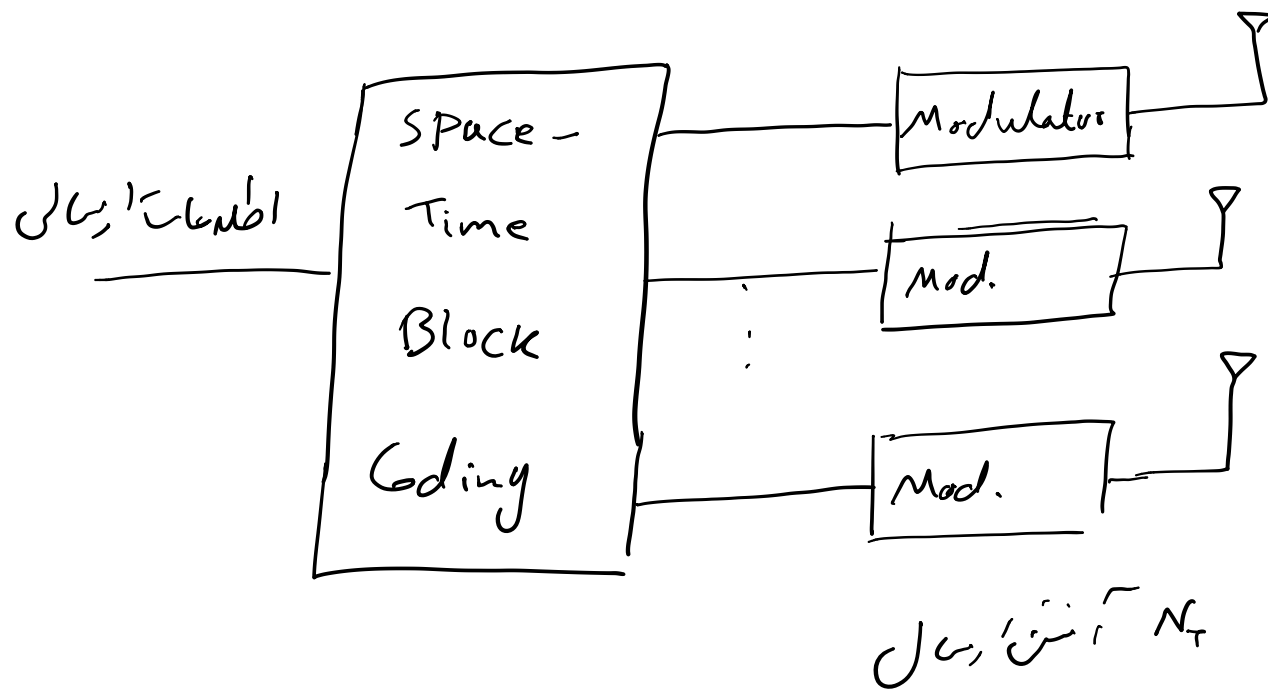
↑
نویز جمع شونده

با این شرایط مرتبه دایره ای به اندازه یک ضرب $\frac{d_{min}}{2}$
افزایش می یابد.
ست $\frac{d_{free}}{2}$ کدهای کانال کد شدن

ب) دیدگاه دوم - طراحی کد برای کانال MIMO (کدهای فضا-زمان)

الف) کدهای فضا-زمان بلوکی (Space-Time Block Codes) (STBC)

شکل زیر ساختار کلی کدهای فضا-زمان بلوکی را برای سیستم های MIMO نمایش می دهد.



اطلاعات ارسالی توسط بلوک انگور، فضا-زمان به نقطه n Constellation، مورد نظر خروجی شود. (مردم سیون m -ary)

$M = 2^k$ | سپین N_p رشته از اطلاعات در خروجی بلوک انگور برای ارسال روی N_T آنتن، ترکیبی شود.

این رشته ها بر اساس معادلات موله که فضا-زمان در خروجی ترکیبی شوند.

معادلات موله که فضا-زمان بلوک به شکل کلی زیر است

$$G_{N \times N_T} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1N_T} \\ g_{21} & g_{22} & & g_{2N_T} \\ \vdots & & & \\ g_{N1} & g_{N2} & & g_{NN_T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{ij} \end{bmatrix}_{N \times N_T}$$

(اندیس زمان) | نشان دهنده سیمای ارسال در زمان اول

اندیس مکانی

(از آنتن فرام ارسال می شود)

(در زمان فرام ارسال می شود)

↑
سیمای ارسالی روی آنتن (اندیس مکان)

ژانر سیمای ارسالی

در زمان فرام روی

آنتن فرام است.

به عبارت دیگر در هر زمان، پس از سطوحی مارتینسی سی ردی آشنای ارسال، فرستاده می شود.

N_T : تعداد آشنای ارسال

N_R : تعداد بازه های زمانی لازم برای ارسال یک بلوک.

در طراحی که های فضا - زمان، همواره باید نکات زیر را در نظر داشت.

۱- رسیدن به مرتبه کامل رایدرسی $(N_T \times N_R)$

۲- رسیدن به بیشترین نرخ فضایی (استفاده بهینه از پهنای باند)

۳- پیچیدگی قابل قبول در آنلود و دکلیدر

در ادامه چید که مقدار فضا - زمان بلوکی را مورد بررسی قرار می دهیم.

که المودن

این که، از این که تصد - زمان بلوک است که توسط المودن مطرح شده است (دسال ۱۹۹۸)

این که برای سیستم MTMO ؛ $N_R = 1$ ، $N_T = 2$ معرفی شد. مارتین مدل این که به صورت زیر است.

در زمان اول، سیمبل s_1 روی آنتن اول

و سیمبل s_2 روی آنتن دوم ارسال می شوند.

در زمان دوم، سیمبل s_2^* - روی آنتن اول و سیمبل s_1^* روی آنتن دوم ارسال می شوند.

$$G = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{bmatrix}_{2 \times 2}$$

بازه زمانی اول $N = 2$

بازه زمانی دوم $N_T = 2$

↑ آنتن اول

↑ آنتن دوم

ابتدا $2k$ بیت از اطلاعات ارسال انتخاب می شود و هر کدام از k بیت به یکی از نقاط constellation م-ary صدیر می شوند s_1 و s_2 به است می آید. سپس مارتین G به صورت بالا تشکیل داده می شود و در زمان اول

سطح اول مارتس روی آنتن های ارسال فرستاده می شود و در زمان دوم سطح دوم از مارتس روی آنتن های ارسال فرستاده می شود.

به این ترتیب نرخ فضای که برابر است با

$$R: \text{نرخ فضای که} = \frac{\text{تعداد سیم های ارسال هر بلوک}}{\text{تعداد باندهای زمانی لازم برای ارسال هر بلوک}} = \frac{2}{2} = 1 = \text{Maximum}$$

که محدود می باشد به کارایی نرخ فضای سی دی (برای هر فضای نقد - زمان همواره داریم $R \leq 1$ بلوک می تواند)

ستونهای مارتس G که نشان دهنده دمای ارسال روی آنتن های مختلف هستند، برهم می خورند. به همین جهت این که، خبر د که های فضای زمان بلوک می تواند است.

دیتای فرستاده شده برای آنتن های ارسال از کانال MIMO عبور می کند. ماتریس کانال را این حالت به صورت زیر است،

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \end{bmatrix}$$

$N_R \times N_T$

بنابراین سیگنال دریافتی درگیرنده به صورت زیر خواهد بود،

بردار y را در نظر بگیریم که

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 \\ -s_2^* & s_1^* \end{bmatrix}$$

در زمان اول $\leftarrow$
در زمان دوم $\leftarrow$

$$y_1 = h_{11} s_1 + h_{12} s_2 + \eta_1$$

$$y_2 = h_{11} (-s_2^*) + h_{12} s_1^* + \eta_2$$

y_1 : سیگنال دریافتی در زمان اول

y_2 : سیگنال دریافتی در زمان دوم

$$\underline{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = G H^T + \underline{\eta} \quad , \quad \underline{\eta} = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} y_1 = h_{11} s_1 + h_{12} s_2 + \eta_1 \\ y_2 = h_{11} (-s_2^*) + h_{12} |s_1^*| + \eta_2 \end{cases}$$

$$\underline{y}' = A \underline{s} + \underline{\eta}' \quad , \quad \underline{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix}$$

فرم استاندارد برای استناد
در آنتن سازی

$$\underbrace{\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2^* \end{bmatrix}}_{\underline{y}'} = \underbrace{\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* \end{bmatrix}}_{H_{21}} \underbrace{\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix}}_{\underline{s}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2^* \end{bmatrix}}_{\underline{\eta}'}$$

$$\Rightarrow \underline{y}' = H_{21} \underline{s} + \underline{\eta}'$$

فرض می‌کنیم η_1, η_2 نمره‌های ندرت‌گوسی سفید iid با میانگین صفر و واریانس σ_η^2 باشند. در این صورت آشکارساز ML به صورت زیر فرموله می‌شود.

$$(\hat{s}_1, \hat{s}_2) = \underset{s_1, s_2}{\text{Arg Max}} P(y_1, y_2 | s_1, s_2, h_{11}, h_{12})$$

$$\begin{cases} y_1 = h_{11}s_1 + h_{12}s_2 + \eta_1 \\ y_2 = h_{11}(-s_2) + h_{12}s_1 + \eta_2 \end{cases} \Rightarrow P(y_1, y_2 | s_1, s_2, h_{11}, h_{12}) = N(\underline{\mu}_y, C_y)$$

که در آن y_1, y_2 متغیرهای تصادفی تواترهای دریافتی هستند.

$$\underline{\mu}_y = \begin{bmatrix} h_{11}s_1 + h_{12}s_2 \\ h_{11}(-s_2) + h_{12}s_1 \end{bmatrix}, \quad C_y = \begin{bmatrix} \sigma_\eta^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\eta^2 \end{bmatrix}$$

متغیرهای نااهمیه در رتبه مشتمل هستند. (به شرط معلوم بودن s_1, s_2, h_{11}, h_{12})

$$\Rightarrow P(y_1, y_2 | s_1, s_2, h_{11}, h_{12}) = \frac{1}{(2\pi\sigma_\eta^2)} \exp\left(-\frac{|y_1 - (h_{11}s_1 + h_{12}s_2)|^2}{2\sigma_\eta^2} - \frac{|y_2 - (h_{11}(-s_2^*) + h_{12}s_1^*)|^2}{2\sigma_\eta^2}\right)$$

$$(\hat{s}_1, \hat{s}_2) = \text{Arg Max}_{(s_1, s_2)} P(y_1, y_2 | s_1, s_2, h_{11}, h_{12})$$

$$= \text{Arg Min}_{(s_1, s_2)} \left[\frac{|y_1 - (h_{11}s_1 + h_{12}s_2)|^2 + |y_2 - (h_{11}(-s_2^*) + h_{12}s_1^*)|^2}{2\sigma_\eta^2} \right]$$

$$= \text{Arg Min}_{(s_1, s_2)} \left[|y_1 - (h_{11}s_1 + h_{12}s_2)|^2 + |y_2 - (-h_{11}s_2^* + h_{12}s_1^*)|^2 \right]$$

برای پیدا کردن $(\hat{s}_1, \hat{s}_2)$ نیاز به M^2 جستجو داریم (بسیار کمترین M به صورت نامی با تعداد نقاط Constellation افزایش می‌یابد) اما اراداً به توضیح رفته به علت تقاضای منتهای کمترین با پیچیدگی فعلی ساده سازی کرد.