بسم الله الرحمن الرحیم

**دانشگاه بیرجند**

**دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر**

**پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات**

# کنترل توان در لینک معکوسِ سیستم‌های LTE

**مینا ناصری نسب**

**استاد راهنما:**

**دکتر ناصر ندا**

**دی ۱۳۹۳**

**تأییدیه هیات داوران**

یک نسخه اصل فرم مربوطه

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بیکران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان

## چکیده

در این گزارش انواع روش‌های کنترل توان در سیستم‌های LTE در لینک معکوس که شامل کنترل توان حلقه باز و حلقه بسته می‌شود، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از روش‌های شبیه سازی، نتایج با هم مقایسه و مزایا و معایب هر طرح بررسی شده است.

به منظور بهبود عملکرد کنترل توان که شامل افزایش ظرفیت سلول و کاهش تداخل بین سلولی می‌باشد، به عنوان طرح پیشنهادی از روش‌های هماهنگی تداخل بین سلولی از جمله استفاده مجدد فرکانس کسری به همراه کنترل توان استفاده شده است که نهایتاً نتایج آن در قالب شبیه سازی به تصویر کشیده می شود. مزایای این روش نیز به تفضیل در فصل‌های مربوطه بررسی شده است.



**کلید واژه‌ها:** تداخل، ظرفیت، کنترل تداخل، کنترل توان.

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د

فهرست جدول‌ها ..... ه

فهرست شکل‌ها ..... و

**فصل ۱- مقدمه ..... ۱**

۱-۱- پیشگفتار ..... ۱

۱-۱-۱- معرفی سیستم LTE ..... ۱

۱-۱-۱-۱- طرح پایه ی ارسال ..... ۲

۱-۲- ساختار گزارش ..... ۴

۱-۲-۱- هدف تحقیق ..... ۴

۱-۲-۲- نوآوری تحقیق ..... ۵

**فصل ۲- کنترل توان ..... ۷**

۲-۱- مقدمه ..... ۷

۲-۲- معرفی کنترل توان ..... ۷

۲-۳- اصول کنترل توان ..... ۸

۲-۴- کنترل توان حلقه باز ..... ۹

۲-۴-۱- اثر $P_0$ و فاکتور جبران تلفات مسیر $\alpha$ بر SINR ..... ۱۲

۲-۵- کنترل توان حلقه بسته (CLPC) ..... ۱۳

۲-۵-۱- کنترل توان با SINR هدف ثابت ..... ۱۵

۲-۵-۱- کنترل توان با SINR هدف متغییر ..... ۱۵

۲-۵-۱-۱- تنظیم SINR هدف بر اساس تلفات مسیر کاربران ..... ۱۶

۲-۵-۱-۲- مدل گزارش سقف توان Headroom ..... ۱۷

۲-۶- پارامتر $\alpha$ ..... ۱۸

۲-۶-۱- کنترل توان FPC ..... ۱۸

۲-۶-۲- مفهوم کنترل توان کسری ..... ۱۹

۲-۶-۳- نحوه تنظیم پارامتر $\alpha$ ..... ۲۰

۲-۶-۳-۱- SINR وبهره وری طیفی ۲۱
۲-۶-۳-۲- شبکه و مدل توزیع ۲۱
۲-۶-۳-۳- محاسبه تداخل ۲۱
۲-۶-۳-۴- فرمول های SINR و بهره وری طیفی: ۲۳
۲-۶-۴- کنترل توان DFPC ۲۵
۲-۶-۴-۱- مدل شبکه ۲۵
۲-۶-۵- اصل DFPC ۲۷
۲-۶-۵-۱- دسته بندی کاربران با توجه به موقعیت جغرافیایی (CUP) ۲۷
۲-۶-۵-۲- دسته بندی کاربران با توجه به اثر سایه (CUSH) ۲۷
۲-۷- پارامتر M ۲۸
۲-۷-۱- بررسی تخصیص منابع ۲۹
۲-۷-۲- فرآیند تخصیص منابع در eNodeB ۳۰
۲-۷-۳- روند OLPC در هر کاربر ۳۱
**فصل ۳- استفاده مجدد فرکانس کسری در LTE ۳۲**
۳-۱- محاسبه تداخل هم کانال ۳۳
۳-۱-۱- نتایج عددی ۳۶
**فصل ۴- روش پیشنهادی ۳۸**
۴-۱- معرفی طرح اجرایی ۳۸
**فصل ۵- نتایج شبیه سازی و مقایسه روش‌ها ۴۰**
۵-۱- پارامترهای شبیه‌سازی ۴۰
۵-۲- بررسی اثر پارامتر α و P0 ۴۰
۵-۳- کنترل توان حلقه بسته با SINR هدف ثابت ۴۲
۵-۳-۱- بررسی اثر پارامتر $\alpha$ برای طرح کنترل توان حلقه بسته ۴۴
۵-۳-۲- کنترل توان حلقه بسته با SINR هدف متغییر ۴۵
۵-۴- اثر پارامتر α در کنترل توان حلقه باز ۴۶
۵-۴-۱- نتایج برای FPC و FCPC ۴۶
۵-۴-۲- نمایش نتایج برای DFPC با CUP ۴۷
۵-۴-۲-۱- نتایج برای DFPC با CUSH ۴۸
۵-۵- بررسی کارایی روش پیشنهادی ۵۰

**فصل ۶- نتیجه گیری:..... ۵۴**

**فهرست مراجع..... ۵۶**

**واژه نامه فارسی به انگلیسی..... ۵۷**

**واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۵۹**

# فهرست علایم و نشانه‌ها

| عنوان | علامت اختصاری |
| --- | --- |
| جبران تلفات مسیر | $\alpha$ |
| نسبت تداخل و نویز | IoT |
| نسبت سیگنال به نویز | SNR |
| نسبت سیگنال به نویز و تداخل | SINR |

# فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**


جدول ۲-۱: مقادیر پارامترها در فرمول ظرفیت[۱۰] ..... ۲۶

جدول ۳-۱: فاکتور تصیح تداخل بر حسب درصد[ ۱۳] ..... ۳۶

جدول ۵-۱: فرضیات شبیه سازی [۶] ..... ۴۰

جدول ۵-۲: انتخاب مقایر $\alpha_1$ و $\alpha_2$ برای DFPC با CUP [۶] ..... ۴۷

جدول ۵-۳: انتخاب مقایر $\alpha_1$ و $\alpha_2$ برای DFPC با CUSH [۶] ..... ۴۹

جدول ۵-۴: ظرفیت متوسط در سطح سلول در طرح پیشنهادی [Kbps] ..... ۵۲

جدول ۵-۵: ظرفیت متوسط در سطح سلول در دو طرح کنترل توان [Kbps] ..... ۵۲

# فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۱-۱: ساختار پروتکل LTE [۱] ..... ۳

شکل ۲-۱: سیگنالینگ کنترل توان [۳] ..... ۹

شکل ۲-۲: نمایشی از عملکر کنترل توان حلقه باز ..... ۱۰

شکل ۲-۳: تنظیم SINR هدف بر پایه تلفات مسیر کاربر[۵] ..... ۱۶

شکل ۲-۴ : $PSD_{tx}$ بر حسب PL برای دو مقدار α [۳] ..... ۲۰

شکل ۲-۵: مدل شبکه برای محاسبه تداخل[۵] ..... ۲۲

شکل ۲-۶: فاصله موثر در محاسبه تداخل کاربرv مستقر در فاصله $r \in R_C; 2R_C$ از مرکز [۵] ..... ۲۲

شکل ۲-۷: الگوی لایه ای شامل ۷ سلول[۶] ..... ۲۵

شکل ۲-۸: دسته بندی کاربران مطابق با موقعیت جغرافیایی در سلول [۶] ..... ۲۷

شکل ۲-۹: دسته بندی کاربران با توجه به تداخلی که ایجاد میکنند[۶] ..... ۲۸

شکل ۳-۱: الگو استفاده مجدد فرکانسی[ ۱۲] ..... ۳۳

شکل ۳-۲: تداخل دریافتی برای سلول همکانال[ ۱۳] ..... ۳۳

شکل ۳-۳: دو حلقه از سیستمهای سلولار با استفاده مجدد فرکانسی[ ۱۴] ..... ۳۵

شکل ۵-۱: CDF، SINR برای دو مقدار $P_0$ با α ثابت (a) و برای دو مقدار α با $P_0$ ثابت (b) ..... ۴۱

شکل ۵-۲: ظرفیت کاربران لبه سلول بر حسب $P_0$ برای دو مقدار از $\alpha = 1$ و $\alpha = 0.8$ ..... ۴۲

شکل ۵-۳: SINR،CDF دریافتی FPC با $\alpha = 0.8$ و CLPC با $SINRtraget = 3\ dB$ ..... ۴۲

شکل ۵-۴: مقایسه میان طرح های حلقه بسته با مقادیر متفاوت SINR هدف با طرح FPC ..... ۴۴

شکل ۵-۵: نرخ بیت کاربر لبه سلول و متوسط نرخ بیت مقادیر مختلف α کنترل توان حلقه بسته .. ۴۴

شکل ۵-۶: (a) CDF از SINR دریافتی با $SINRtraget = 1\ dB$ (b) CDF ظرفیت بر حسب α. ۴۵

شکل ۵-۷: اثر متغییر α بر روی ظرفیت و $IOT$ ..... ۴۶

شکل ۵-۸: مقایسه ظرفیت و IOT برای FPC، FCPC و DFPC ..... ۴۸

شکل ۵-۹: نمایشی از موقعیت کاربران $G_2$ و $G_1$ با CUSH [۶] ..... ۴۹

شکل ۵-۱۰: مقایسه ظرفیت بین FPC،FCPC،DFPC با CUP و DFPC با CUSH ..... ۵۰

شکل ۵-۱۱: مقایسه حالت های مختلفی از FFR برای دو رابطه IoT (a) و ظرفیت (b) ..... ۵۱

# فصل ۱– مقدمه

## ۱–۱– پیشگفتار

کنترل توان در هر سیستمی به منظور مدیریت منابع دردسترس به کار گرفته می‌شود. در راستای تحقق بخشیدن به اهداف مورد نظر کنترل توان بهینه در سیستم، نیازمند آشنایی با محیط ارسال داده و معرفی سیستم مورد نظر و همچنین روش‌های ارسال داده در این محیط می‌باشد.

### ۱–۱–۱– معرفی سیستم LTE[۱]

سیستم موسوم به تکامل بلند مدت (LTE) همان‌طوری که توسط پروژه مشارکتی نسل سوم (3GPP[۲]) تعریف شده است، واسط رادیویی بسیار انعطاف پذیر و استاندارد جدیدی به عنوان یک مسیر تکاملی از (3GPP) به سمت (4$GPP$[۳]) به حساب می‌آید. از اهداف طراحی استاندارد LTE می‌توان به مواردی چون افزایش نرخ متوسط ارسال اطلاعات، افزایش نرخ ارسال در مرز سلول‌های مخابراتی، بهبود پارامتر راندمان طیفی، انعطاف‌پذیری طیفی، کاهش تاخیر بسته‌های اطلاعاتی داده و کاهش هزینه دست‌یابی به شبکه اشاره کرد.

استقرار اولیه LTE در پایان سال ۲۰۰۹ انجام شد. اولین انتشار[۴]، LTE حداکثر نرخ داده ۳۰۰ Mb/s، تاخیر شبکه کمتر از ۵ ms و افزایش قابل توجه بازده طیفی در مقایسه با سیستم های سلولار قبلی را فراهم می‌کند. همچنین به منظور ساده سازی عملیات و کاهش هزینه‌ها در این سیستم، معماری جدیدی برای شبکه رادیویی طراحی شده است. LTE از هر دو تکنیک جداسازی سیگنال، تقسیم فرکانس (FDD[۵])

---

[۱] Long-Term Evolution

[۲] Third Generation Partnership

[۳] Forth Generation Partnership

[۴] Release

[۵] Frequency-Division Duplex

و تقسیم زمانی (TDD[۱]) پشتیبانی می‌کندو همچنین طیف وسیع و انعطاف پذیری را به منظور تخصیص منابع به کاربران خود، به کار می‌گیرد. در نهایت، LTE به منزله یک گام بزرگ به سمت تلفن همراه نسل چهار[۲] به شمار می آید. در واقع، در حال حاضر اولین انتشار LTE شامل بسیاری از ویژگی های اصلی که برای سیستم های نسل چهار در نظر گرفته شده است، می‌باشد[۱].

### ۱-۱-۱-۱- طرح پایه ی ارسال

دست یابی چندگانه بروش تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM[۳]) ، با انتقال داده ها بر روی تعداد زیادی زیر حامل باند باریک موازی، هسته فرستنده‌های رادیویی LTE در لینک مستقیم (DL)[۴] را تشکیل می‌دهد. باتوجه به استفاده از زیرحامل های نسبتا باریک با یک پیشوند حلقوی (CP)[۵]، انتقال OFDM به پراکندگی زمان در کانال‌های رادیویی مقاوم می‌باشد، بدون اینکه نیازمند تنظیمات پیشرفته و احتمالاً همسانسازی (زیر نویس) پیچیده‌ای برای کانال در سمت گیرنده باشیم. برای لینک مستقیم، این ویژگی مهمی است چرا که پردازش باند پایه را در گیرنده ساده و هزینه‌های مصرف برق ترمینال را کاهش می‌دهد. این امر به ویژه با توجه به پهنای باند ارسال گسترده‌ی LTE با اهمیت می‌باشد. برای لینک معکوس(UL[۶])، که در آن توان ارسالی در دسترس به طور قابل توجهی کمتر از لینک مستقیم است، وضعیت قدری متفاوت خواهد بود. به همین دلیل، انتقال تک حامله، بر اساس تبدیل فوریه گسسته (DFT[۷] - precoded OFDM) برای لینک معکوس در LTE استفاده می‌شود، که به عنوان تقسیم فرکانس تک حامله (SC- FDMA9[۸]) شناخته شده است. SC-FDMA نسبت توان متوسط به پیک (PAPR)[۹] کوچکتری از OFDM دارد، بنابراین امکان طراحی پایانه‌هایی با پیچیدگی کمتر و یا ارسال با توان بالاتر را در پایانه فراهم می‌کند.

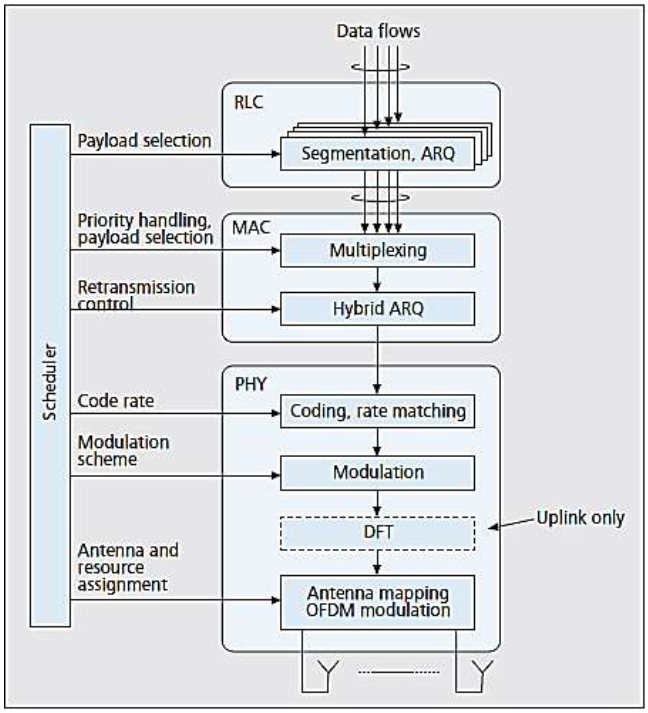
ساختار پروتکل اساسی LTE در شکل نشان ۱-۱ داده شده است. لایه های لینک کنترل رادیویی (RLC[۱۰]) و کنترل دسترسی به رسانه (MAC[۱۱]) ، مسئول کمک به ارسال مجدد و تسهیم جریان داده ها می باشند. در لایه فیزیکی، داده ها به منظور ارسال شدن با استفاده از یکی از موارد زیر مدوله می‌شوند:

---

[۱] Time-Division Duplex
[۲] $4_{th}\ Generation$
[۳] Orthogonal Frequency- Ddivision Multiplexing
[۴] Downlink
[۵] Cyclic Prefix
[۶] Uplink
[۷] Discrete Fourier Transform
[۸] Single Carrier Frequency-Division Multi Acceses
[۹] Peak to Average Power Ratio
[۱۰] Radio Link Control
[۱۱] Medium Access Control

QPSK[1]، 16- QAM، 64 - QAM، که در ادامه توسط مدولاسیون OFDM نیز مدوله می‌شود.

فاصله زیر حامل ها از هم ۱۵kHz بوده و طول دو پیشوند حلقوی برای هر دو لینک معکوس و لینک مستقیم پشتیبانی شده است. یک پیشوند حلقوی نرمال ۴/۷μs برای اکثر محیط‌ها و پیشوند حلقوی طولانی ۱۶.۷μs برای محیط های با پخش کنندگی بالا مناسب می‌باشد. در لینک مستقیم، انواع مختلف پردازش چند آنتنه، قبل از اعمال مدولاسیون OFDM استفاده می‌شود.




**شکل ۱-۱: ساختار پروتکل LTE [۱]**

برای حمایت از تخمین کانال و همچنین برای اهداف مختلف اندازه گیری، از جمله اندازه گیری به منظور مدیریت حرکت و نیز اندازه گیری کیفیت کانال، سیگنال های مرجع مخصوص سلول در لینک مستقیم ارسال می‌شود. سیگنال ارسال شده در قالب زیر فریم هایی با طول ۱ms، سازمان دهی می‌شوند. هر زیر فریم متشکل از ۱۴ یا ۱۲ سمبل OFDM، بسته به نوع و طول پیشوند حلقوی استفاده شده، می‌باشند. در نهایت ده زیر فریم به صورت یک فریم رادیویی در نظر گرفته می‌شود.

LTE، FDD و همچنین TDD را پشتیبانی می‌کند، حالت دوم معمولاً به عنوان TD-LTE نامیده می‌شود. اگر چه ساختار حوزه زمان، در بسیاری از جهات، در هر دو تکنیک‌های تفکیک سیگنال نام برده شده، مشابه است، اما تفاوت‌هایی بین این دو نیز وجود دارد.

[1] Quadrature-Phase Shift Keying

با توجه به ارسال بر پایه OFDM، LTE می‌تواند از برنامه‌ریزی بر اساس کانال وابسته به هر دو حوزه زمان و فرکانس، برای بهره برداری از تغییرات سریع کانال به جای سرکوب آن استفاده کند، که منجر به استفاده کارآمدتر از منابع رادیویی دردسترس می‌شود. برنامه‌ریز[1] در لینک معکوس تعیین می‌کند، برای هر ms ۱زیر فریم، برای کاربرانان مجاز به ارسال، چه منابع فرکانس اشغال شود، و چه نرخ داده‌ای استفاده شود. زیر فریم‌های کوتاه در حد ms ۱ امکان ردیابی تغییرات نسبتا سریع کانال را فراهم می‌کنند. در حوزه فرکانس، پهنای باند بلوک های منبع، kHz ۱۸۰ است. توجه داشته باشید که هر دو ارسال های لینک مستقیم و لینک معکوس توسط برنامه‌ریز لینک معکوس واقع در ایستگاه پایه کنترل می‌شود. در نتیجه برنامه‌ریز لینک معکوس یک عنصر کلیدی و تا حد زیادی تعیین کننده عملکرد کلی سیستم لینک مستقیم نیز می‌باشد[۱].

## ۱-۲- ساختار گزارش

### ۱-۲-۱- هدف تحقیق

در حال حاضر به علت رشد سریع تکنولوژی، تجهیزات کاربران نیز پیشرفت سریعی داشته است. اما در مساله ذخیره انرژی و ساخت باتری این رشد، کندتر بوده است. همچنین بحث محدودیت منابع فرکانسی مانند پهنای باند ارسال داده نیز از جمله چالش‌های مورد نظر در بحث منابع مورد نیاز برای مخابره اطلاعات می‌باشد. در بحث کنترل توان با توجه به محدودیت منابع فرکانسی و کم‌توانی منابع تولید انرژی در جهت تولید توان برای ارسال داده، راه‌حل‌هایی در زمینه بهینه‌سازی توان ارسالی و نیز بهینه‌سازی تخصیص پهنای باند ارسال داده مطرح و بررسی می‌شود.

در سیستم‌های LTE در حالت ارسال غیر مستقیم به علت وجود شبکه‌ای سلولار بحث کنترل توان دارای اهمیت قابل توجه می‌باشد. از یک سو، در سمت گیرنده برای آشکارسازی داده، توان ارسالی باید بیشتر از حد مشخصی باشد. به عبارتی با توجه به تداخل‌های اعمال شده به کاربران از طرف سایر کاربران موجود در شبکه، SINR[2] دریافتی لازم است در حد قابل قبولی باشد.

از طرف دیگر، همان‌طور که گفته شد، به علت ساختارLTE ، این سیستم تداخل درون سلول در حالت ایده‌آل نداشته و تنها مساله تداخل بین سلولی مطرح می‌شود که این امر باعث افت SINR در سمت گیرنده

[1] Scheduler

[2] Signal Interfierence Nois Ratio

می‌شود و لذا انتظار می‌رود با اعمال کنترل توان مناسب، بتوان اثر کاربران بر روی هم‌دیگر را تا حد قابل قبولی کاهش داده و تداخل را کنترل نموده و در نتیجه منجر به افزایش ظرفیت سلول گردید.

برای تحقق این موارد، نیازمند کنترل توان با پارامترهای بهینه به منظور حداقل رساندن سطح تداخل دریافتی و از طرفی بیشینه کردن میزان ظرفیت در سطح سلول می‌باشیم. این امر نیازمند معرفی انواع روش‌های کنترل توان خواهد بود.

در مقالات بررسی شده در ارتباط با کنترل توان در سیستم‌های LTE در حالت ارسال معکوس، برای انواع روش‌های کنترل توان مورد بررسی، که از آن جمله می‌توان به کنترل توان حلقه باز و حلقه بسته اشاره کرد، سعی در بهینه‌سازی پارمترهای کنترل توان برای ماکزیمم کردن ظرفیت سلول و حداقل کردن تداخل در سطح سلول بوده است.

ساختار کلی گزارش به شرح زیر دسته بندی شده است:

فصل دوم به معرفی انواع روش‌های کنترل توان، پارامترهای موثر در کنترل توان و نیز بهینه سازی پارامترهای مربوطه به منظور تحقق دو هدف ذکر شده یعنی بالا بردن توان ارسالی و کاهش تداخل تحمیلی به سایر کاربران، می‌پردازد. فصل ۳ ساختار کنترل تداخل کسری را بررسی کرده که این ساختار در فصل ۴ با کنترل توان در هم آمیخته و روش جدیدی در زمینه بهبود ظرفیت کاربران ارائه می‌کند.

به منظور درک بهتر مباحث تئوری نتایج شبیه سازی‌های در قالب فصل ۵ به تفضیل بررسی می‌شود. در نهایت نتیجه‌ای از این گزارش در فصل ۶ ذکر خواهد شد.

## ۱-۲-۲- نوآوری تحقیق

با توجه به توضیحات ذکر شده درمی‌یابیم که کنترل توان در نهایت سعی در بالا بردن SINR دریافتی دارد که به تبع آن بتواند میزان ظرفیت را در سیستم افزایش دهد. برای افزایش SINR با توجه به اینکه این مقدار با توان ارسالی رابطه مستقیم و با تداخل دریافتی رابطه عکس دارد، دو راه وجود خواهد داشت.

راه اول افزایش توان ارسالی است، که این امر با توجه به دو مساله محدودیت سخت‌افزاری تجهیزات کاربر و نیز توجه به این نکته که افزایش توان ارسالی منجر به افزایش تداخل نیز می‌شود، عملا از نظر پیاده سازی با محدودیت همراه است. راه دوم اجرای روش‌هایی برای کاهش تداخل تحمیلی به کاربر است.

به منظور کاهش تداخل تحمیلی به کاربر، می‌توان از روش‌های هماهنگی تداخل مانند استفاده مجدد فرکانسی برای حذف درصدی از تداخلات احتمالی در سطح سلول استفاده نمود و میزان SINR را در حد زیادی بهبود داد، سپس همزمان با اعمال کنترل توان با استفاده از مقادیر بهینه برای تمام پارامترها که در بررسی‌های انجام شده به دست آمده‌اند، علاوه بر کاهش تداخل، ظرفیت را به طرز چشمگیری افزایش داد.

این امر در  مقایسه با حالتی که تنها از عامل کنترل توان برای کاهش تداخل تحمیلی به کاربران استفاده شده، منجر به افت شدید تداخل می‌شود و علاوه بر آن باعث  افزایش قابل توجه ظرفیت سیستم خواهد شد.  .

# فصل ۲– کنترل توان

## ۲–۱– مقدمه

استاندارد LTE تعامد میان سیگنال کاربران درون یک سلول در هر دوی لینک معکوس و مستقیم، را تضمین می‌کند، که این امر حداقل در حالت ایده آل منجر به حذف تداخل، بین ارسال‌های درون یک سلول مشابه می‌شود و لذا تنها تداخل بین سلولی مورد نظر خواهد بود. از این رو، عملکرد LTE از نظر بهره‌وری طیفی و نرخ داده‌ی در دسترس، بیش تر با تداخل از سوی سلول‌های دیگر (تداخل بین سلول) به خصوص برای کاربران لبه سلول محدود شده است.

بنابراین، کنترل توان لینک معکوس به منظور کاهش یا کنترل تداخل بین سلولی به طور بالقوه می تواند منافع قابل توجهی برای عملکرد LTE، به خصوص از نظر سرویس دهی (نرخ داده و ...) فراهم کند، که می تواند به کاربران لبه سل اعمال شده و ظرفیت کاربران سلول را به طور کلی ارتقا دهد. از طرف دیگر کنترل توان می‌تواند، علاوه بر کنترل تداخل میان سلولی منجر به کنترل توان سیگنال دریافتی در گیرنده شده و کیفت سیگنال دریافتی جهت آشکار سازی را افزایش دهد.

## ۲–۲– معرفی کنترل توان

کنترل توان به تعیین سطح توان خروجی فرستنده، ایستگاه‌های پایه در لینک مستقیم و تجهیزات کاربر (UEs[۱]) در لینک معکوس می‌پردازد. در یک محیط چند کاربره تعدادی از کاربران منابع رادیویی مشابهی را سهیم می‌شوند. به علت محدودیت تعداد کانال‌های رادیویی در دسترس در شبکه، یک کانال مشابه باید برای بسیاری از کاربران اختصاص داده شود. بنابراین، یک منبع (مثلا یک زیر حامل خاص) در نظر گرفته شده برای یک کاربر می‌تواند توسط کاربران سلول های دیگر نیز به کار گرفته شده و این خود منجر به تحمیل تداخل بر داده های آنها می‌شود که در نهایت منجر به کاهش کیفیت سیگنال دریافتی در سمت گیرنده‌ی سیستم خواهد شد.

[۱] User Equipments

در کنترل توان، از یک طرف توان ارسالی کاربر باید در سطح مناسبی نگه داشته تا نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویز مورد نیاز در سمت گیرنده برای آشکار سازی فراهم باشد، از سوی دیگر توان ارسالی باید به منظور کاهش کل تداخل سیستم نیز کنترل شود. که این دو مورد از وظایف اساسی کنترل توان به حساب می‌آید. به طور کلی، تکنیک‌های کنترل توان را به دو دسته زیر گروه‌بندی می‌کنند:

- کنترل توان حلقه باز (OLPC[۱])
- کنترل توان حلقه بسته (CLPC[۲])

در OLPC ، هر UE تلفات مسیر را تخمین زده و به خودی خود توان ارسالی‌اش را کنترل می کند.

در حالی که، در CLPC، eNode_B[۳] (گره تکامل یافته B) توان کاربران را با توجه به تغییرات کانال با ارسال دستورات کنترل توان ارسالی (TPC[۴]) تنظیم می‌کند[۲].

## ۲-۳- اصول کنترل توان

صرف نظر از نوع کنترل توان، در3GPP ، توان ارسالی UE برای PUSCH[۵] توسط معادله زیر تنظیم می‌شود[۲]:

$$\boldsymbol{P_{PUSCH} = \min\{P_{max}, P_0 + 10\log_{10} M + \alpha\, PL + \delta_{mcs} + f(\Delta_i)\}} \qquad ۱-۲$$

که در آن:

- $P_{\max}$ ماکزیمم توان ارسالی مجاز کاربر است.
- M تعداد بلوک های فیزیکی منابع می باشد (PRB[۶]) که به کاربر اختصاص داده می‌شود.
- $P_0$ پارامتر مخصوص کاربر و سلول می‌باشد. که برای کنترل SNR هدف، مورد استفاده قرار می‌گیرد و تعیین مقدار $P_0$ توسط کنترل منابع رادیویی (RRC[۷]) انجام می‌شود. که در اکثر موارد فرض بر این می‌باشد که $P_0$ مخصوص سلول است.

---

[۱] Open Loop Power Control

[۲] Close Loop Power Control

[۳] Evolution Node B

[۴] Transmit Power Control

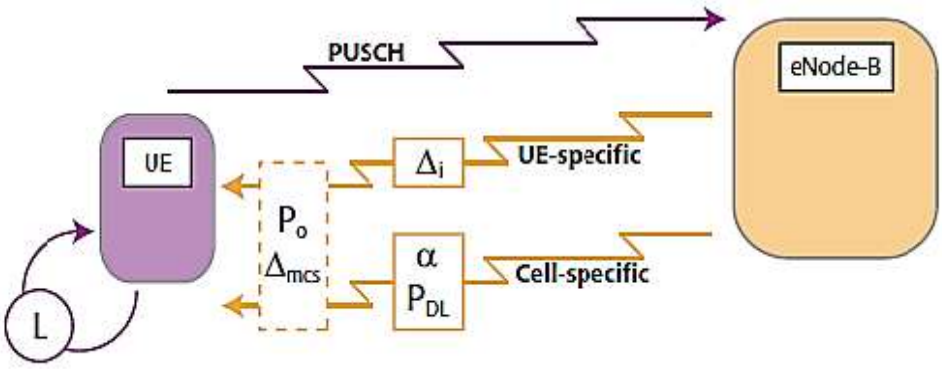
[۵] Physical Uplink Shared Channel

[۶] Physical Resource Blocks

[۷] Radio Resource Control

- $\alpha$ عامل جبران تلفات مسیر است. این پارامتر مخصوص سلول بوده در قالب ۳ بیت در محدوده‌ی $[۰ - ۱]$ توسط RRC مشخص خواهد شد. مقدار پارامتر $\alpha$ از مجموعه مقادیر $\{۰ ، ۰/۴ ، ۰/۵ ، ۰/۶ ، ۰/۷ ، ۰/۸ ، ۰/۹ ، ۱\}$ برای تصمیم گیری وزن جبران تلفات مسیر کاربر انتخاب می‌شود.
- PL : تلفات DL مسیر می‌باشد. این پارامتر در UE بر اساس توان دریافتی سمبل های مرجع (RSRP[۱]) که در مسیر DL توسط ایستگاه پایه مخابره شده است، تخمین زده می‌شود.
- $\delta_{mcs}$ : با توجه به طرح مدولاسیون و کدینگ انتخابی مقداردهی می‌شود. این پارامتر مخصوص سلول و کاربر بوده که در مشخصات 3GPP برای LTE تعریف شده است.
- $f(\Delta_i)$ : پارامتری مخصوص کاربر است. یک مقدار تصحیح شده توسط دستور TPC برای تنظیم SINR هدف برای کاربران مختلف توسط eNode_B مخابره می‌شود.

در شکل ۲-۱ سیگنالینگ کنترل توان نمایش داده شده است:




**شکل ۲-۱: سیگنالینگ کنترل توان [۳]**

## ۲-۴- کنترل توان حلقه باز

در کنترل توان حلقه باز برای جبران تغییرات آهسته سیگنال دریافتی که شامل تلفات مسیر و سایه می‌باشد، از کنترل توان کسری استفاده می‌شود و مصالحه‌ای بین ظرفیت کاربران لبه سلول و متوسط ظرفیت سلول را ممکن می‌سازد. در کنترل توان حلقه باز (OLPC)، توان ارسالی در تجهیزات کاربر (UE) با استفاده از پارامترها و معیارهای به دست آمده از سیگنال‌های ارسال شده توسط ایستگاه پایه تنظیم می‌شود. در این حالت ازهیچ فیدبکی به UE در مورد توان استفاده شده برای ارسال، استفاده نمی‌شود. اگرچه ، کنترل توان حلقه باز منجر به اجرای ساده‌تر و سیگنالینگ کمتر خواهد شد، اما قادر به جبران تغییرات کانال برای کاربران به فرم منحصر به فرد نخواهد بود[۴].

[۱] Refrence Symbol Received Power