بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی کرمانشاه

دانشکده انرژی

گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی رشته مهندسی برق

گرایش مخابرات

عنوان پایان نامه:

بررسی و حل مساله نامحدب بهینه سازی تخصیص توان در شبکه مخابراتی

استاد راهنما:

دکتر عبدالحمید زاهدی

نگارنده:

امیر حاتمی

بهمن 1399

دانشگاه صنعتی کرمانشاه

دانشکده انرژی

گروه مهندسی برق

پروژه کارشناسی رشته مهندسی برق

گرایش مخابرات

نام دانشجو: امیر حاتمی

تحت عنوان:

بررسی و حل مساله نامحدب بهینه سازی تخصیص توان در شبکه مخابراتی

در تاریخ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.

استاد /استاد راهنما با مرتبه علمی امضا

استاد یا استادان مشاور(در صورت وجود) با مرتبه علمی امضا

استاد/استادان داور با مرتبه علمی امضا

چکیده:

ما در این گزارش سعی به حل و مدل سازی چند مساله نا محدب در حوزه مخابرات بی سیم با هدف کنترل توان و از طریق راه حل دوم یعنی دور زدن نامحدبی را داریم.که ابتدا به معرفی و تعریف روش استفاده شده برای حل مساله یعنی GP میپردازیم و سپس با استفاده از همین روش مساله را به حالت محدب تبدیل میکیم و آن را در حالت محدب حل کرده و بعد از آن به حل مساله در حالت غیر قابل تبدیل به حالت محدب با استفاده از SP میپردازیم. و مساله ها را شبیه سازی مکنیم و حل میکنیم تمامی کدها را در قسمت ضمیمه ها آورده ایم.

فهرست مطالب

فصل اول

1–مقدمه:

دو موج اصلی در تاریخ بهینه سازی و کاربرد های آن وجود دارد:موج اول با بهینه سازی خطی(LP)[1] و راه حل های ساده در سال 1940 شروع شد،موج دوم در سال 1980 شامل روش های نقطه درونی[2] و بهینه سازی محدب[3] بود.سپس کارهای علمی زیادی در این حوضه انجام شد پس از ارتقاع الگوریتم ها و جعبه ابزارهای قدرتمند در این حوزه افراد بیشتری به استفاده از آن روی آوردند.سیستم های مخابراتی هم بهره قابل توجهی از این دو موج میبرند؛با این حال تعداد زیادی از تحقیقات دهه گذشته در حوزه موج بعدی یعنی بهینه سازی نامحدب[4] قرار میگیرند.اگر بخواهیم از یک کلمه برای توصیف سختی و راحتی یک مساله بیان کنیم احتمالا محدب بودن یا نبودن بهترین توصیف را دارد.

به طور کلی یک مساله بهینه سازی به صورت زیر میباشد[14]:

$$minimize\ f_0(x)$$
$$sobject\ to\ f_i(x) \le b_i\ , \quad i = 1, \dots, m$$

در حالی که بردار $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ متغیر های بهینه سازی هستند و تابع $f_0: \boldsymbol{\mathcal{R}^n} \to \boldsymbol{\mathcal{R}}$ تابع هدف نامیده میشود و $f_i: \boldsymbol{\mathcal{R}^n} \to \boldsymbol{\mathcal{R}}$ به ازای $i = 1, \dots, m$ به نامساوی هایی هستند که بیانگر قیدهای مساله بهینه سازی میباشند و $b_1, b_2, \dots, b_m$ کران بالا برای قیدها میباشند.

1-1. مساله خطی:

به طور کلی ما کلاس های مختلف یا انواع مختلف مساله های بهینه سازی را بر اساس نوع تابع هدف و قید ها بیان میکنیم.به عنوان هر مساله بهینه سازی به فرم شکل یاد شده را یک مساله بهینه سازی خطی میگوییم اگر:

$$f_i(\alpha x + \beta x) \le \alpha f_i(x) + \beta f_i(x)$$

برای همه $x, y \in \boldsymbol{\mathcal{R}^n}$ و برای همه $\alpha, \beta \in \boldsymbol{\mathcal{R}}$ برقرار باشد و اگر غیر این باشد مساله را غیر خطی[5] میگوییم.

[1] Linear Programming
[2] interior point method
[3] convex optimization
[4] nonconvex optimization
[5] nonlinear program

1-2. مساله کمترین مربعات:

مساله کمترین مربعات[6] مساله ای است که در آن قید ها وجود ندارند در واقع قید ها را به تابع هدف تبدیل میکنیم.برای این کار از مربع تفاضل قیدها و کران های آنها استفاده میکنیم که فرم آن به صورت زیر است.

$$minimize\ f_0(x) = \|Ax - b\|_2^2 = \sum_{i=1}^{k} (a_i^T x - b_i)^2$$

در حالی که $A \in \boldsymbol{\mathcal{R}}^{\boldsymbol{n \times k}}$ $(k \geq n)$ و a_i^T ها ردیف های A میباشند.و بردار $x = x_1, x_2, \dots, x_n$ متغیر های بهینه سازی هستند.روش حل این نوع مساله ها در [14] آورده شده است.

1-3. مساله محدب و نامحدب:

برا اساس [14] ما مجموعه C را محدب مینامیم در صورتی که خط واصل هر دو نقطه عضو C به طور کامل داخل مجموعه C قرار بگیرد.

همچنین یک مساله محدب مساله ای است که تابع هدف آن و قیدهای آن مساله به صورت محدب باشند و این مساله باید به شکل زیر باشد:

$$\begin{aligned} &minimize\ f_0(x) \\ &sobject\ to\ f_i(x) \leq b_i\ , \qquad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

در حالی که تابع $f_0, f_1, \dots, f_m: \boldsymbol{\mathcal{R}^n} \to \boldsymbol{\mathcal{R}}$ یک تابع محدب است اگر:

$$f_i(\alpha x + \beta x) \leq \alpha f_i(x) + \beta f_i(x)$$

برای همه $x, y \in \boldsymbol{\mathcal{R}^n}$ و برای همه $\alpha, \beta \in \boldsymbol{\mathcal{R}}$ در حالی که $\alpha + \beta = 1\ , a \geq 0, \beta \geq 0$برقرار باشد و اگر غیر این باشد مساله را نامحدب میگوییم.

برای حل یک مساله محدب یک فرمول تحلیلی عمومی وجود ندارد ولی روش های خیلی موثری برای حل آنها وجود دارد روش های نقطه درونی در عمل بسیار خوب عمل میکنند و با تعدادی عملیات مساله را حل میکنند.این روش ها مساله را در چند قدم یا تکرار حل میکنند که تعداد آنها به طور میانگین بین 10 تا 100 میباشد. ما میتوانیم با استفاده از روش های نقطه درونی یک مساله محدب را با بیش از هزاران قید و صدها متغیر در کمتر از چند ثانیه با

---

[6] *Least-squares*

استفاده از سیستم های کامپیوتری خانگی حل کنیم که در این زمینه ابزارهایی مثل yallmip و CVX از جمله شناخته شده ترین ابزار های حل مساله محدب با استفاده از روش های نقطه درونی هستند.

1-4. تنوع مساله های بهینه سازی نامحدب:

چهار عنوان اصلی که تنوع مساله های بهینه سازی نا محدب را به بهترین شکل بیان میکنند میتوان به صورت زیر نام برد:

- هدف نا محدب به حداقل برسد[۷]. به عنوان مثال کنترل ترافیک برای شبکه های غیرقابل انعطاف[۸]،جایی که تابع هدف نامحدب نیاز به بهینه سازی دارد.
- مجموعه محدودیت های نا محدب[۹].به عنوان مثال کنترل توان در سیستم های با SIR پایین.
- محدودیت های عدد صحیح[۱۰].دو مثال مهم در این حالت مسیر یابی تک راهی[۱۱] و تشخیص چند کاربره[۱۲] میباشد
- مجموعه های محدودیت که محدب هستند اما برای توصیف صریح، به تعداد زیادی نابرابری نیاز دارند. به عنوان مثال ، برنامه ریزی بهینه در شبکه های بی سیم چند منظوره تحت مدل های خاص تداخل.

1-5. رویکردهای حل مساله نامحدب:

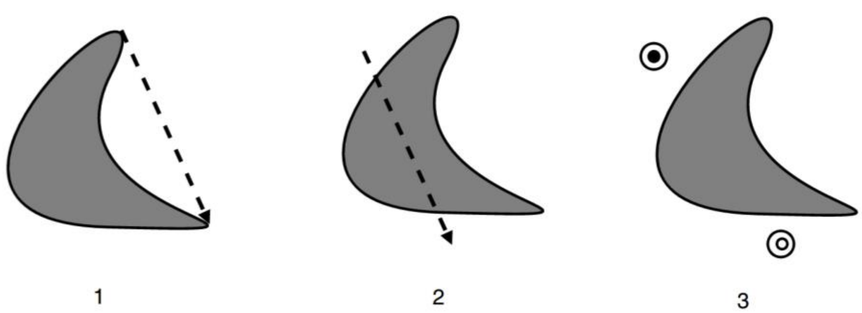
روش های مختلفی برای مقابله با مساله های بهینه سازی نامحدب ارائه شده است: از تقریب محدب متوالی[۱۳] تا دوگانه سازی[۱۴] ،از تحول غیر خطی تا تبدیل یک مساله نامحدب قطعی به یک مساله محدب تا تععین خصوصیات مناطق جذب[۱۵] و بیرون پریدن از نقاط بهینه محلی، و از استفاده از ساختار های خاص مساله ها(به عنوان مثال تفاوت توابع محدب،به حداقل رساندن تعقر و تحدب درجه پایین) تا توسعه روش های شاخه-و-مقید[۱۶][1] .

جالب است بدانید مساله های نامحدب در سیستم های مخابراتی همان طوری که در شکل(1) نشان داده شده است حداقل از سه دیدگاه کاملا متفاوت مورد بررسی قرار میگیرند.

---

[7] *Nonconvex objective to be minimized.*
[8] *congestion control for inelastic application traffic*
[9] *Nonconvex constraint set.*
[10] *Integer constraints.*
[11] *single path routing*
[12] *multiuser detection*
[13] *successive convex approximation*
[14] *dualization*
[15] *characterization of attraction regions*
[16] *branch-and-bound procedures*

1. رفتن از وسط نا محدبی[17]. در این روش سعی به حل مساله های پیچیده میشود؛به عنوان مثال آرامش های محدب پی در پی[18] (مثل: جمع مربعات[19] ، برنامه نویسی نشانه ای[20])، استفاده از ساختارهای خاص در مساله (به عنوان مثال ، تفاوت توابع محدب ، تقارن شبه تعمیم یافته[21])،یا استفاده از روش های هوشمند و مقید.
2. دور زدن نا محدبی[22].در این روش سعی میشود از حل مساله به صورت محدب صرف نظر شود؛به عنوان مثال،پیدا کردن متغیر هایی که یک مساله ظاهرا نامحدب را به یک مساله محدب تبدیل میکند، تعیین شرایطی که در آن مساله محدب باشد یا نقطه KKT[23] منحصر به فرد باشد و یا تخمین زدن مساله نامحدب به یک مساله محدب.
3. رفتن به فوق نامحدبی[24].در این روش در مرحله اول سعی میشود مساله نامحدب دوباره فرموله بندی شود تا قابل حل شود یا به طور تقریبی قابل حل شود.فروملە بندی مساله های بهینه سازی توسط برخی فرضیات اساسی در مورد این که معماری و پروتوکل های شبکه چه شکلی باشد بنا میشوند.با تغییر این فرضیات ممکن است یک فرموله بندی خیلی ساده تر برای حل کردن یا تقریب زدن به دست آید.ما از این روش به عنوان طراحی برای بهینه سازی یاد می کنیم ، که مربوط به طراحی مجدد معماری ها برای حل آسان تر مسئله بهینه سازی است. این رویکرد تغییر یک مساله سخت به یک مساله ساده تر تفاوت چشمگیری با بهینه سازیی که سعی در حل مساله داده شده احتمالا سخت میکند، دارد.



شکل(1):سه رویکرد اصلی برای مواجهه با مساعل بهینه سازی نا محدب در مخابرات

---

[17] Go “through” nonconvexity.
[18] successive convex relaxations
[19] sum-of-squares
[20] signomial programming
[21] difference of convex functions, generalized quasiconcavity
[22] Go “around” nonconvexity.
[23] Karush–Kuhn–Tucker (KKT) conditions
[24] Go “above” nonconvexity.

فصل دوم

2- معرفی مساله:

به دلیل ماهیت پخش سیگنال های رادیویی،نرخ داده و دیگر پارامتر های کیفیت سرویس(QoS)[۲۵] تحت تاثیر تداخل قرار میگیرد.این امر به ویژه در سیستم های CDMA[۲۶] مهم میشود زیرا کاربران متفاوت در زمان یکسان با فرکانس یکسان به ارسال سیگنال می پردازند. کنترل قدرت انتقالی اغلب برای مقابله با تداخل در سیگنال ها مورد استفاده قرار میگیرد[2].در این گزارش نحوه بهینه سازی برای یک مساله انتقال توان برای ایجاد یک نقطه بهینه با بیشترین نسبت سیگنال به تداخل(SIR)در پیوند های بی سیم مطالعه میشود.بهینه سازی میتواند با توجه به هدف مساله متفاوت باشد،مثلا بیشینه کردن معیار کارایی در کل سیستم(به عنوان مثال توان کل سیستم)، یا بیشینه کردن معیار QoS برای کاربر با بالاترین کلاس QoS ،یا بیشینه کردن معیار QoS برای کاربر با کمترین مقدار معیار QoS (به عنوان مثال بهینه سازی ماکسمین).

تابع هدف، هدفی را نشان میدهد که باید بهینه شود؛همچنین QoS مورد نیاز هر یک از کاربران نیز باید ارضا شود.بنابر این هر تخصیص نیرو توسط مجموعه ای از قید ها که بخاطر نیاز های کاربران به وجود آمده است، در فضای شدنی محدود میشود.این قیدها شامل قیدهای کاربر-محور[۲۷] و برخی قید های شبکه-محور[۲۸] تابع هدف هستند.از آنجایی که سطح بالای توان فرستنده میتواند باعث افزایش تداخل در گیرنده های دیگر شود،ممکن است فضای شدنی[۲۹] برای تخصیص توان برای ارضای نیاز همه کاربران وجود نداشته باشد. بعضی اوقات می توان مجموعه ای از نیازهای موجود را برآورده کرد ، اما وقتی کاربر جدیدی در سیستم پذیرفته می شود،دیگر هیچ جواب شدنی برای مساله کنترل توان وجود ندارد. یا به حداکثر رساندن هدف به دلیل سخت گیری زیاد مجموعه محدودیت کاهش می یابد،که به ترتیب هر کدام منجر به نیاز به کنترل پذیرش و کنترل ارزش میشود.

از آنجایی که بسیاری از معیار های QoS به صورت توابعی غیر خطی از SIR هستند،که به نوبه خود یک عملگر غیر خطی از قدرت انتقالی هستند. به طور کلی ، مشکلات بهینه سازی کنترل قدرت یا امکان سنجی از مشکلات بهینه سازی غیرخطی است که ممکن است مساله NP-سخت[۳۰] پدیدار شوند.

براساس[3,4] وقتی SIR خیلی بیشتر از 0dB باشد.یک کلاس برنامه ریزی به نام برنامه ریزی هندسی(GP)[۳۱] میتواند به صورت کارآمدی برای محاسبه توان بهینه کلی مورد استفاده قرار گیرد و به طور ماهرانه ای نیازهای شدنی کاربران را با برگرداندن مجموعه ای از قدرتهای شدنی و بهینه مشخص میکند.این امر همچنین موجب کنترل پذیرش و روش ارزش گذاری پذیرش به صورت موثر میشود.

---

[25] Quality of service
[26] Code-division multiple access
[27] user-centric
[28] network-centric
[29] feasible
[30] NP-hard problems
[31] Geometric Programming

مشاهدات کلیدی این است که با وجود نامحدبی قطعی،با تغیر لگاریتمی متغیرها، رویکرد GP، مساله مقید کنترل توان را به یک مساله بهینه سازی محدب تبدیل میکند.که به طور ذاتی با وجود غیر خطی بودن در تابع هدف و قید ها قابل حل شدن است .با این حال هنگامی که SIR حدود odB یا کمتر میباشد مساله کنترل توان تبدیل به یک مساله نامحدب بدون هیج راه حل و روش برای به دست اوردن نقطه بهینه کلی میشود.در این مورد ما از یک روش ابتکاری که به طور قابل اثباتی همگراست و از نظر تجربی همیشه نقطه بهینه کلی تخصیص توان را با حل متوالی GP محاسبه میکند استفاده میکنیم.

رویکرد GP ساختار پنهان محدب را آشکار میکند، که دلیل بر کار آمد بودن و پیدا کردن نقطه بهینه کلی در مساله کنترل قدرت،با توابع هدف غیر خطی میباشد.فرمول های قابل حل در سیستم های با SIR پایین کاملا متفاوت با سیستم های با SIR بالا میباشد.کنترل توان توسط GP هم در شبکه های سلولی با ارسال تک-هاپ[۳۲] بین کاربر موبایل و بیس، و هم در شبکه های تک کاره[۳۳] با فرستنده مولتی-هاپ[۳۴] در بین گره ها کاربردی میباشد.

اغلب،GP توسط محاسبات متمرکز از طریق روش های بسیار موثر نقطه درونی حل میشود.

به طور کلی تکنیک تغیر غیرخطی متغیرها، شامل تغیر لگاریتمی متغیرها، تا آشکار ساختن ساختار محدب پنهان در فرمله بندی مساله بهینه سازی در مساله های مخابراتی کاربرد بسیار زیادی دارد.

---

[32] *single-hop*
[33] *ad hoc networks*
[34] *multihop*

فصل سوم

3– معرفی GP :

GP دسته ای از مساله های بهینه سازی غیر خطی و نامحدب با بسیاری ویژگی های تئوری و محاسباتی میباشد.GP در حالت استاندارد یک مساله ظاهرا نامحدب است که میتوانیم آن را به یک مساله محدب تبدیل کنیم و به راحتی آن را حل کرد. به دلیل این که مساله های GP در حالت استاندارد میتوانند به یک مساله محدب تبدیل شوند در نتیجه نقطه بهینه محلی و نقطه بهینه کلی برابر میباشند، شکاف دوگانگی لاگرانژ[۳۵] در شرایط خوب صفر است و نقطه بهینه کلی میتواند به صورت کاملا ماهرانه ای محاسبه شود همپچنین GP در حال حاظر خیلی خوب گسترش یافته است و الگوریتم های بسیار موثری در این زمینه وجود دارد (مثل MOSEK که یکی از حل کننده های CVX هم میباشد) .روش های نقطه درونی اعمال شده به GP دارای پیچیدگی زمان چند جمله ای با ضرایب مثبت [۳۶] هستند[5].

دو حالت برابر برای GP وجود دارد:حالت استاندارد و حالت محدب.

نوع اول یک بهینه سازی مقید با نوع تابع چند جمله ای با ضرایب مثبت میباشد و فرم دوم از طریق اولین تغییر لگاریتمی متغیر ها به دست می آید.

اگر تابع $f : \mathbf{R}^n_{++} \rightarrow \mathbf{R}$ را به صورت تک جمله ای در نظر بگیریم:

$$f(\mathbf{x}) = d x_1^{a^{(1)}} x_2^{a^{(2)}} \ldots x_n^{a^{(n)}}$$

در نوع استاندارد چند جمله ای با ضرایب مثبت مد نظر به صورت زیر میباشد.

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{K} d_k x_1^{a_k^{(1)}} x_2^{a_k^{(2)}} \ldots x_n^{a_k^{(n)}}$$

در حالی که $d \geq 0$ و ثابت نمایی $d_k \geq 0,\ k = 1,2,\ldots,K$ و $a_k^{(j)} \in \mathbf{R},\ j = 1,2,\ldots,n,\ k = 1,2,\ldots,K$.در حالت استاندارد، کمینه کردن یک چند جمله ای با قید چند جمله ای کران بالا یا با قید های یک جمله ای GP نامیده میشود:

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \quad f_0(\mathbf{x}) \\ &\text{subject to} \quad f_i(\mathbf{x}) \leq 1, \qquad i = 1,2,\ldots,m, \\ &h_l(\mathbf{x}) = 1, \quad l = 1,2,\ldots,m \end{aligned}$$

در حالی که $f_i, i = 0,1,\ldots,m,$ یک چند جمله ای میباشد و $h_l, l = 1,2,\ldots,M,$ یک جمله ای میباشد. GP در حالت استاندارد یک مساله محدب نیست زیرا چند جمله ای ها محدب نیستند.به هر حال با تغیر لگارتمی متغیرها و قیدها: $y_i = \log \mathrm{x_i}\ , b_{ik} = \log \mathrm{d}_{ik}\ \ , b_l = \log \mathrm{d}_l$ و تغیر لگاریتمی مقدار تابع میتوانیم به شکل زیر بنویسیم:

[35] Lagrange duality gap
[36] polynomial-time complexity

$$\begin{aligned} &Minimize \quad p_0(y) = \log \textstyle\sum_{k=1}^{K_0} \exp(a_{0k}^T y + b_{0k}) \\ &sobject\ to \quad p(y) = \log \textstyle\sum_{k=1}^{K_i} \exp(a_{ik}^T y + b_{ik}) \le 0\ , i = 1,2, \dots, m \qquad (1) \\ &\qquad q_l(y) = a_l^T y + b_l = 0\ , l = 1,2, \dots, M. \end{aligned}$$

این معادله یک GP در حالت محدب است،این یک مساله بهینه سازی محدب است زیرا میتوان ثابت کرد که log-sum-exp توابعی محدب هستنند.

به طور خلاصه میتوان تعریف کرد که GP یک مساله غیر خطی و نامحدب است که قابل تبدیل به مساله غیر خطی محدب میشود.GP در حالت استاندارد برای فرموله کردن مساله های تخصیص توان با تابع هدف غیر خطی و قیدهای QoS غیرخطی مورد استفاده قرار میگیرد.برای این که متوجه شویم (1) محدب است باید نشان دهیم تابع هدف و قید ها همگی روی y محدب هستند.و این را میتوان از طریق تست مثبت–معین هسیین[37] نشان داد.

توجه داشته باشید اگر چه چند جمله ای با ضرایب مثبت یک تابع نامحدب به نظر میرسد ولی با تغیر لگاریتمی محدب میشود.وابسته به نوع مساله حداقل سازی(مقید یا نامقید) حدقل سازی چند جمله ای با ضرایب مثبت در GP باعث آرام سازی[38] محدودیت های عدد صحیح[39] بر ثابت های نمایی میشود، ولی محدودیت مثبت بودن[40] را به ثابت ها و متغیر های ضرب اعمال میکند. بین دو حالت مساله تضاد شدیدی وجود دارد:به حداقل رساندن چند جمله ای با ضرایب مثبت NP–سخت است ولی GP میتواند آن را به یک مساله بهینه سازی با الگوریتم های زمان–چندجمله ای قابل اثبات برای بهینه کلی تبدیل کند.

حالت توسعه یافته GP را با نام برنامه نویسی نشانه ای[41](SP) است که در آن این مزیت وجود دارد که محدودیت ثابتهای ضرب غیر منفی برداشته می شود، در نتیجه یک کلاس کلی از مساله غیر خطی و واقعا نامحدب است که همزمان یک تعمیم از GP و مینیمم سازی چند جمله ای در ربع مثبت است.همان گونه که در جدول(1) خلاصه شده است.

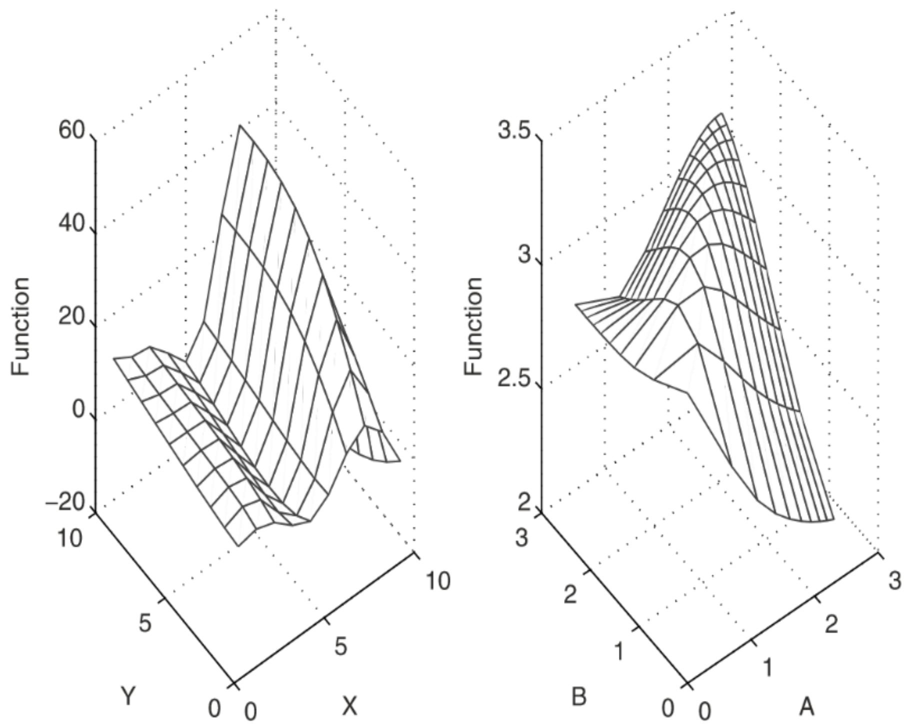
	GP	*PMoP*	*SP*
c	**R**+	**R**	**R**
$a(j)$	**R**	Z+	**R**
xj	**R**++	**R**++	**R**++

[37] *positive-definiteness test of the Hessian*
[38] *relaxation*
[39] *Integer constraint*
[40] *positivity constraint*
[41] *signomial programming*

جدول(1):مقایسه GP و حداقل سازی چندجمله ای مقید در ربع مثبت[42](PMoP) و برنامه نویسی نشانه ای (SP). هر سه نوع مساله،مجموع هایی از تک جمله ای ها را محدود به محدودیت های نابرابری در قسمت فوقانی به صورت جمع تک جمله ای. اما با تعریف متفاوتی از تک جمله ای: $c\prod_j x_j^{a(j)}$. به عنوان زمان–چندجمله ای GP قابل حل است ولی PMoPو SP این گونه نیستند.

تابع هدف در SP میتواند به عنوان کمینه سازی نسبت بین دو چند جمله ای با ضرایب مثبت فرموله شود در حال که تابع هدف دیگر چند جمله ای با ضرایب مثبت نیست.همان گونه که در شکل(2) نشان داده شده است حتی بعد از تغیر لگاریتمی

نیز نامحدب میباشد.اگرچه به نظر نمیرسد که SP میتواند به حالت محدب تبدیل شود ولی روش های ابتکاری وجود دارد که میتوان آن را از طریق رها سازی متوالی GP حل کرد. این روش ها با وجود ساختار های غیر جبری دارای



شکل (2) : نسبت بین دو چند جمله ای مثبت قبل(چپ) و بعد(راست) از تغیر لگاریتمی روی آن که در هر دو مورد نامحدب است.

نقص هستند و باید از پایه های نظری مثل روش (sos)[43] بهره ببرند[6] .

که با استفاده از یک خانواده تو در تو از آرامش های SDP[44] برای حل مشکلات محدود کردن چند جمله ای استفاده می کند.

---

[42] *constrained polynomial minimization over the positive quadrant*
[43] *sum-of-squares*
[44] *SDP relaxations*

فصل چهارم

4-کنترل توان توسط GP در حالت قابل تبدیل به مساله محدب:

طرح های مختلف کنترل قدرت مثل متمرکز یا توزیعی به تور گسترده از سال 1990 بر اساس مدل های مختلف ارسال داده و کاربرد ها و نیاز ها مورد مطالعه قرار گرفته شد.در این فصل از طریق GP مساله کنترل قدرت را مورد بررسی قرار میدهیم.

4-1.مدل اولیه:

یک شبکه بیسیم را (سلولار یا مولتی-هاب) با n فرستنده و گیرنده منطقی در نظر بگیرید.قدرت انتقالی را با $\boldsymbol{P} = p_1, p_2, \dots, p_n$ نشان میدهیم. در حالت سلولار آپلینک،همه ی دریافت کننده های منطقی ممکن است در یک دریافت کننده فیزیکی قرار گیرند مثلbase station. در حالت مولتی-هاپ بخاطر این که محیط انتقال میتواند در لینک های شامل مسیر پایان-به-پایان متفاوت باشد باید در طرح های کنترل قدرت هر لینک را در مسیر جریان ها در نظر بگیریم.

محو شدگی و توان دریافت شده از فرستنده j ام در گیرنده i ام به صورت $G_{ij}F_{ij}P_j$ میباشد در حالی که $G_{ij} \geq 0$ بیان کننده بهره مسیر (ممکن است بهره آنتن و بهره کد کردن را نیز در بر داشته باشد) است که معمولا متناسب است با $d_{ij}^{-\gamma}$ در حالی که d_{ij} نشان دهنده فاصله و γ فاکتور سقوط قدرت[45] است. F_{ij} نشان دهنده مدل محو شدگی است و وابسته به چیزی نمیباشد و به صورت نمایی با میانگین یک توزیع میشود.توزیع توان از فرستنده j در گیرنده i یک نمایی با میانگین $E\left[G_{ij}F_{ij}P_j\right] = G_{ij}P_j$ میباشد. SIR برای گیرنده iام به صورت زیر میباشد:

$$SIR_i = \frac{G_{ii}F_{ii}P_i}{\sum_{j \neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}$$

در حالی که n_i بیان کننده نویز توان برای گیرنده iام است.

ـ (2) ایز[46] M که توسط یک لینک مورد استفاده قرار میگیرد میتواند برای MQAM به طور تقریبا دقیقی به صورت آورده شده تخمین زده شود. $M = 1+(-\varphi_1/(\ln(\varphi_2 \mathrm{BER})))\mathrm{SIR}$ درحالی که BER نشان دهنده نرخ ارسال خطا[47] و φ_1, φ_2 ثابت های هستند که به نوع مدلاسیون مرتبط میشوند.

تعریف میکنیم $K = -\varphi_1/(\ln(\varphi_2 \mathrm{BER}))$ که منجر به بیان نرخ داده بر حسب تابعی از SIR میشود:

$$R_i = \frac{1}{T}\log_2(1 + K\, SIR_i) \qquad (3)$$

---

[45] *power fall-off factor*
[46] *constellation size*
[47] *bit error rate*

که با فرض این که $K\ SIR$ خیلی بزرگتر از یک باشد داریم:

$$R_i = \frac{1}{T}\log_2(K\ SIR_i)$$

این تقریب زمانی قابل دستیابی است که قدرت سیگنال بسیار بیشتر از قدرت تداخل باشد یا در سیستم های $CDMA$ وقتی که spreading gain زیاد باشد.برای سادگی نمادین بیشتر در ادامه این فصل ما G_{ii} را مجددا به صورت K برابر G_{ii} تعریف میکنیم.بنابر این ثابت K وارد تعریف SIR میشود.

سپس می توان نرخ داده کل را برای سیستم به صورت زیر نوشت:

$$R_{system} = \sum_i R_i = \frac{1}{T}\log_2(\prod_i SIR_i) \qquad (4)$$

پس در سیستم های با SIR بالا ماکسیمم کردن نرخ داده کل برابر با ماکسیمم کردن ضرب SIRها میباشد.توان عملیاتی سیستم نرخ داده کل قابل پشتیبانی با توجه به مجموعه ای از کاربران با نیار مشخص به QoS است.

احتمال قطع[48] نیز یکی دیگر از پارامتر های مهم QoS برای ارتباط مطمعن بیسیم میباشد. قطع کانال[49] زمانی نمایان میشود و بسته های داده از دست میروند که SIR از یک مقدار تعیین شده SIR_{th} کمتر باشد که برای محاسبه این مقدار اغلب از BER استفاده میکنند.اکثر سیستم ها مداخله گرانه[50] هستند و نویز گرمایی نسبتا کم است؛بنابر این تختمال قطع در گیرنده iام به صورت زیر میباشد.

$$P_{o,i} = Prob\{SIR_i \leq SIR_{th}\} = Prob\{G_{ii}F_{ii}P_i \leq SIR_{th}\, G_{ij}F_{ij}P_j\}$$
$$= 1 - Prob\left\{\frac{G_{ii}F_{ii}P_i}{SIR_{th}\, G_{ij}F_{ij}P_j} \leq 1\right\}$$

احتمال قطع میتواند طبق[7,11] به صورت زیر بازنویسی شود.

$$P_{o,i} = 1 - \prod_{i \neq j} \frac{1}{1 + \frac{G_{ii}P_i}{SIR_{th}\, G_{ij}P_j}} \qquad (5)$$

با این حال نامساوی کران بالای $P_{o,i} \leq P_{o,i,max}$ که به عنوان قید بعدا مورد استفاده قرار میگیرد برای تبدیل شدن به یک قید محدب میتواند به صورت چند جمله ای با ضرایب مثبت با کران بالا به صورت زیر نوشته شود:

(6)

---

48 *Outage probability*
49 *channel outage*
50 *interference-dominated*

$$\prod_{i \neq j} 1 + \frac{SIR_{th} G_{ij} P_j}{G_{ii} P_i} \leq \frac{1}{1 - P_{o,i,max}}$$

4-2.مساله شبکه بیسیم سلولار:

ابتدا چگونگی اعمال GP پایه را بر روی مساله شبکه بیسیم سلولار با فرستنده تک هاپ از N کاربر مورد بررسی قرار میدهیم.این نتایج دامنه کنترل توان،توسط راه حل های کلاسیک در سیستم های $CDMA$ که SIR ها را برابر میکند ، را توسعه میدهد؛و آنهایی که الگوریتم تکراری[51] دارند(به عنوان مثال در [8,9,10]) که قدرت انتقالی را مینیمم میکنند(تابع هدف خطی باشد)در حالی که قید ها روی SIR وجود دارند.

ما بحث را بر کنترل قدرت با یک مثال ساده با یک تابع هدف ساده و قید های ابتدایی و ساده شروع میکنیم.مساله مقید زیر یک مساله برای ماکسیمم کردن SIR یک کاربر خاص i^* یک مساله GP است.

$$\begin{aligned} & maximize \quad R_{i^*}(P) \\ & subject\ to \quad R_i(P) \geq R_{i,min}\,, \qquad \forall i\,, \\ & \qquad P_{i1} G_{i1} = P_{i2} G_{i2}, \\ & \qquad 0 \leq P_i \leq P_{i,max}, \qquad \forall i \end{aligned} \tag{7}$$

P همان $\boldsymbol{P} = p_1, p_2, \dots, p_n$ است و اولین قید برابر با $SIR_i \geq SIR_{i,min}$ است و مقدار کمینه ای را برای SIR دیگر کاربران قرار میدهد و آنها را از این که کاربر i^* توانش را بیش از حد افزایش دهد محافظت میکند.قید دوم معیار کنترل قدرت کلاسیک را در حل مساله دور–نزدیک[52] در سیستم های CDMA را منعکس می کند؛انتظار میرود قدرت دریافتی در از یک فرستنده i1 با قدرت i2 دیگر برابر باشد. قید سوم شامل محدودیت های نظارتی بر روی قدرت هر فرستنده است تا از یک مقدار ماکسیمم بیشتر نشود.میتوان اثبات کرد که همه قید ها نامساوی کران بالا از نوع چند جمله ای با ضرایب مثبت و بر بروی P هستند.

همچنین میتوانیم از GP استفاده کنیم برای ماکسیمم کردن مینیمم نرخ داده در میان همه کاربران.تابع هدف ماکسمین به صورت زیر میباشد.

$$maximize_P \ \min\{R_i\}$$

تابع هدف (7) میتواند با GP سازگار شود زیرا میتوان آن را با ماکسمم کردن متغیر کمکی t به صورت $SIR_i \geq \exp(t)$ برابر دانست که یک تابع هدف چند جمله ای با ضرایب مثبت و مقید شده روی (P,t) است.

---

[51] *iterative algorithms*
[52] *near—far problem*

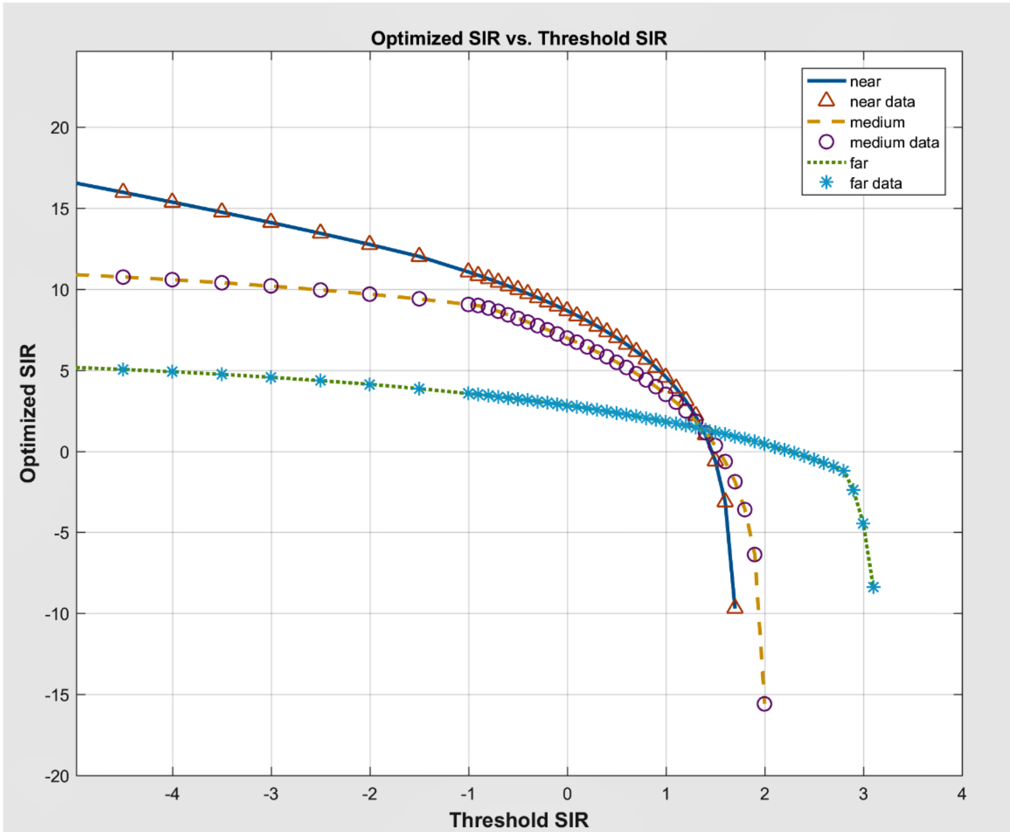
4-3.مثال عددی(1) : در این مثال به تحقق(7) با در نظر گرفتن سیستمی به شرح زیر میپردازیم.

یک سیستم را با پنج کابربر در نظر بگیرید.این پنج کاربر در فواصل d برابر 1و5و10و15و20 واحد از بیس استیشن پخش شده اند. γ فاکتور سقوط قدرت برابر با 4 است.هر کاربر یک مقدار ماکزیمم برای قدرت ارسالی دارد $P_{max} = 0.5\ mW$.قدرت نویز برای همه کاربران برابر با $0.5\ \mu W$ است و K برابر 3 در نظر گرفته شده است.مقدار SIR برای همه کاربران ب جز کاربری که بهینهه سازی برای آن انجام میشود باید از یک حد معین $SIR_{\text{threshord}}$ بیشتر باشد.

ما این را برای کاربری نزدیک، با فاصله 1 [53]و کاربری که نه خیلی دور هست نه خیلی نزدیک، با فاصله 10[54] و کاربری با فاصله دور، ینی 20[55] به صورت مستقل حل کرده ایم و نتایج را در شکل(3) نشان داده ایم.برای حل این مساله ما از برنامه متلب و ابزار CVX[56] استفاده نموده ایم.در آن برای حل مساله فرمول های به کار رفته شده در (7) را گاهی با مقادیر معادل آن جایگزین کرده ایم و در کامنت ها نوشته شده است که چرا چنین شده است.کد های مربوط به حل این مساله را میتوانید در ضمیمه(الف) پیدا کنید.در این مساله چندین تاثیر جالب وجود دارد؛اول این که وقتی $SIR_{\text{threshord}}$ مورد نیاز برای حل مساله بسیار زیاد انتخاب میشود هیچ جواب شدنی برای مساله وجود ندارد.وقتی که مقدار $SIR_{\text{threshord}}$ نه خیلی زیاد است نه خیلی کم با کاهش آن شاهد کاهش شدید مقدار SIR به دست آمده از حل مساله بهینه سازی برای کاربر مورد نظر هستیم که این نشان دهنده کم کردن توان تخصیص داده شده به این کاربر است که دلیل آن،این است که برای بالاتر بردن مقدار SIR از مقدار $SIR_{\text{threshord}}$ در بقیه کاربران که بهینه سازی روی آنها صورت نمیگیرد از توان مورد استفاده کاربری که بهینه سازی روی آن صورت میگیرد کم میکنیم (تا ایجاد تداخل این کاربر بر روی بقیه کمتر شود)و به بقیه آنها اضافه میکنیم و نویز تاثیر زیادی در ایجاد این حالت نمودار ندارد.وقتی که مقدار $SIR_{\text{threshord}}$ کم میشود شاهد آن هستیم نویز تاثیر بیشتر و قابل توجهی بر سیستم دارد و همچنین مقدار SIR برای کاربر مورد نظر بیششتر میشود و به مقدار ماکزیمم خود نزدیک میشود همچنین مبادله توان بین کاربران کمتر میشود به همین دلیل هم است که نموداری نرم و با شیب کند داریم همچنین توان بیشتری را میتوانیم به کاربر مورد نظر خود(بدون ایجاد تداخل قابل ملاحضه در بقیه کاربران)تخصیص دهیم در نتیجه مقدار SIR حاصل از حل مساله برای این مقدار های $SIR_{\text{threshord}}$ پایین بیشتر میشود.

---

[53] near
[54] medium
[55] far
[56] cvx toolbox



شکل (3): نتایج حاصل از حل مثال عددی(1) برای مساله تخصیص توان به سه کاربر با فواصل نزدیک،متوسط و دورکه هرکدام به طور مستقل با مقدار های مختلف $SIR_{threshord}$ حل شده اند و جواب آنها توسط ابزار cvx در برنامه متلب حل شده و برای مقایسه در شکل بالا حاظرگردیده است.

ما در ادامه نشان میدهیم که میتوان GP را برای فرموله کردن و حل کردن یک مساله با تابع هدف کلی تر مثل نرخ داده کل و با قید های روی نرخ داده هر کاربر و احتمال قطع که میتوان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} & maximize \quad R_{system}(P) \\ & subject\ to \ \ R_i(P) \geq R_{i,min} \,, \qquad \forall i \,, \\ & \qquad\qquad P_{o.i}(P) \leq \ P_{o.i.max}(P), \qquad \forall i \,, \\ & \qquad\qquad 0 \leq P_i \leq P_{i,max}, \qquad \forall i \end{aligned} \tag{8}$$

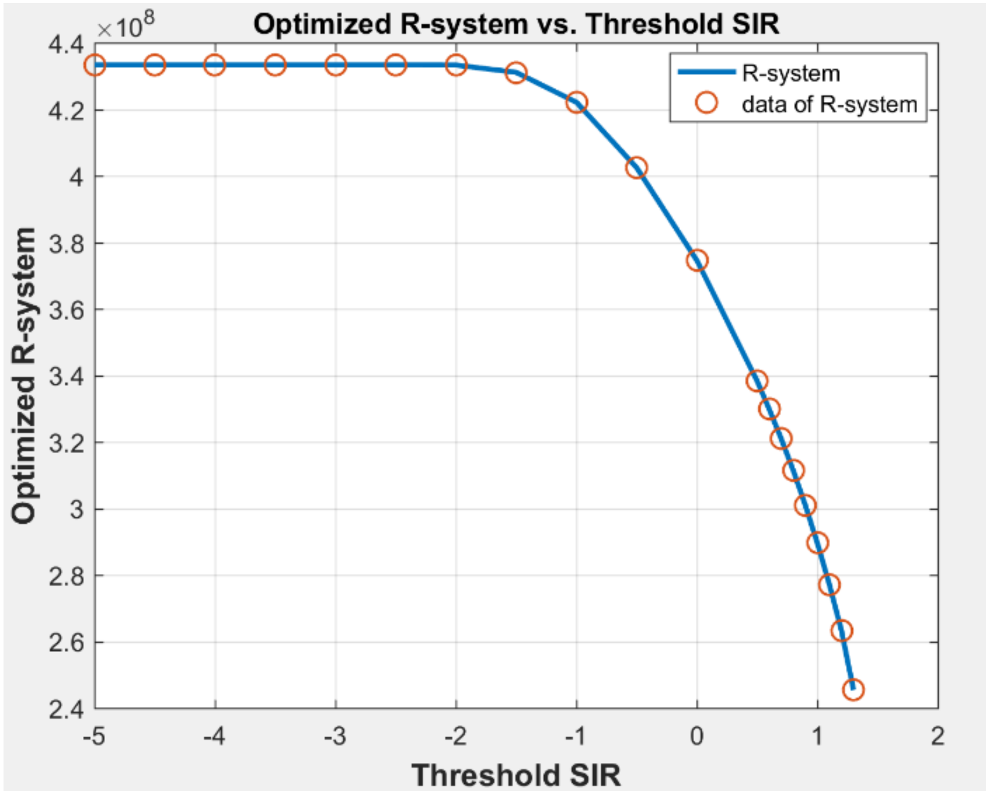
در حالی که متغیر برای بهینه سازی P یا همان $\boldsymbol{P} = p_1, p_2, \dots, p_n$ است.تابع هدف را میتوان برابر دانست با مینیمم کردن $\prod_i ISR_i$ که ISR همان $1/SIR$ است هر ISR یک چند جمله ای با ضرایب مثبت با متغیر P است و ضرب آنها نیز همچنان چند جمله ای با ضرایب مثبت است.اولین قید دامنه نرخ داده را تعیین میکند که باید از مقدار مشخصی

بیشتر باشد و در مثال قبل گفتیم که معادل با $SIR_i \geq SIR_{i,min}$ است و مقدار کمینه ای را برای SIR دیگر کاربران قرار میدهد،قید دوم بیان کننده وجود یک حد بالا برای احتمال قطع میباشد و از معادله شماره(6) قابل پیاده سازی میباشد.قید سوم هم که مانند قید سوم در(7) میباشد.با تعریف یک متغیر کمکی به نام s،تابع هدف را میتوان به این گونه بیان کرد که ما s را کمینه کنیم با این قید که $\prod_i ISR_i \leq s$ باشد.

4-4.مثال عددی(2) : در این مثال به تحقق(8) با در نظر گرفتن سیستمی به شرح زیر میپردازیم.

یک سیستم را با پنج کاربر در نظر بگیرید.این پنج کاربر در فواصل d برابر 1و5و10و15و20 واحد از بیس استیشن پخش شده اند. γ فاکتور سقوط قدرت برابر با 4 است.هر کاربر یک مقدار ماکزیمم برای قدرت ارسالی دارد $P_{max} = 0.5\ mW$.قدرت نویز برای همه کاربران برابر با $0.5\ \mu W$ است و مقدار K=3 و فرکانس مدولاسیون برابر $100\boldsymbol{M}\ \boldsymbol{H_z}$ در نظر بگیرید و برای قید دوم مساله(8) مقدار ماکزیمم احتمال قطع مجاز را برابر با $P_{o.i.max} = 0.01$ قرار دهید.

هدف ما بیشینه کردن نرخ داده کل میباشد در حالی که باید نرخ داده هر یک از اعضا از یک مقدار مشخصی بیشتر باشد و طبق معادلی که برای این قید تعریف کردیم در واقع باید SIR از یک مقدار $SIR_{\text{threshord}}$ بیشتر باشد.برای حل از ابزار cvx استفاده کردیم و با برنامه متلب مقدار ماکزیمم نرخ داده کل را به ازای $SIR_{\text{threshord}}$ های مختلف اندازه گیری کردیم.



شکل(4): نمودار حاصل از حل مساله(8) به ازای $SIR_{threshord}$ های مختلف که بیان کننده $R_{i.min}$ های مختلف میباشد.و مقدار بهینه به دست آمده برای R_{system} .

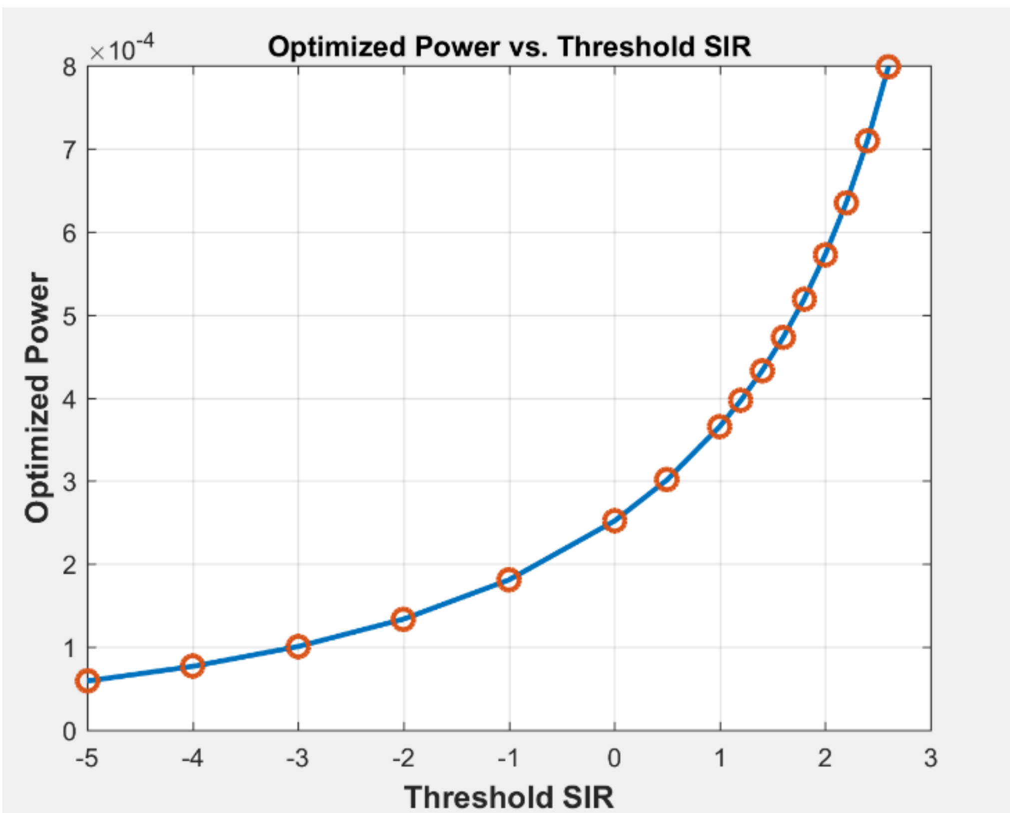
در جواب به دست آمده شاهد آن هستیم که به ازای $SIR_{\text{threshord}}$ های زیاد که معادل با $R_{i,min}$ های زیاد میباشد هیچ جواب شدنی وجود ندارد و به ازای $R_{i,min}$ های متوسط شاهد کاهش سریع نرخ داده کل به ازای افزایش $R_{i,min}$ یا معادل آن یعنی $SIR_{\text{threshord}}$ هستیم زیرا با این کار مجبور هستسم توان بیشتری برای کاربران راه دور صرف کنیم تا مقدار نرخ داده آنها از $R_{i,min}$ بیشتر شود.در مقدار های پایین $R_{i,min}$ هر کاربر به راحتی به کار خود ادامه میدهد و توان کمتری صرف کاربران راه دور میشود یا حتی در مقدار های خیلی پایین از $R_{i,min}$ تمام توان با کاربران نزدیک اختصاص داده میشود تا SIR آن و در نتیجه نرخ داده کل بیشتر شود. کد های مربوط به مدل سازی این مساله را میتوانید در ضمیمه(ج) پیدا کنید.

حال به سراغ مساله ای دیگر میرویم که در آن هدف کمینه کردنه مقدار توان مصرفی توسط همه کاربران میباشد در حالی که قید هایی بر روی احتمال قطع و قید های روی نرخ داده هر کاربر به صورت زیر بیان میکنیم.

$$\begin{aligned} & minimize \quad \sum_i P \\ & subject\ to \quad R_i(P) \geq R_{i,min}\,, \qquad \forall i\,, \\ & \qquad\qquad P_{o.i}(P) \leq P_{o.i.max}(P), \qquad \forall i\,, \end{aligned} \tag{9}$$

$$0 \leq P_i \leq P_{i,max}, \qquad \forall i$$

4-5.مثال عددی(3) : در این مثال به تحقق(9) با در نظر گرفتن سیستمی به شرح زیر میپردازیم.
یک یسیستم را مطابق با سیستم مثال عددی(2) در نظر بگیرید و همه پارامتر های لازم را برابر با پارامتر های موجود در مثال عددی(2) در نظر بگیرید.هدف ما پیدا کردن کمترین مقدار بهینه برای مساله (9) میباشد .ما مقدار بهینه توان به را به ازای مقادیر مختلف $SIR_{\text{threshord}}$ محاسبه کرده ایم و در شکل (5) توسط نرم افزبر متلب رسم کرده ایم.نتایج نشان میدهد که به اضای مقادیر خیلی زیاد $SIR_{\text{threshord}}$ هیچ جواب شدنی وجود ندارد در حالاتی که مساله جواب شدنی دارد می بینیم که ما برای رسیدن به SIR بیشتر مجبور به افزایش توان کاربران هستیم که این یک چیز نا مطلوب برای مساله ما میباشد یعنی ما برای برآورده کردن نیاز هر کاربر برای داشتن SIR بالاتر از $SIR_{\text{threshord}}$ مجبور به افزایش توان هستیم.کد های مربوط به مدل سازی این مساله را میتوانید در ضمیمه(ج) مشاهده کنید.



شکل(5): نتایج حاصل از حل مثال عددی(3) نشات گرفته از مساله (9) به ازای مقادیر مختلف $SIR_{threshord}$

فصل پنجم

5– کنترل توان توسط GP در حالت غیر قابل تبدیل به محدب(کاملا نامحدب):

اگر ما اقدام بیشینه سازی توان عملیاتی R_{system} در حالات با SIR پایین کنیم (SIR کمتر یا مساوی با odB باشد) دیگر معادله (3) را نمیتوانیم به صورت $\frac{1}{T}\log_2(K\ SIR_i)$ تقریب بزنیم.بر خلاف معکوس SIR معکوس 1+SIR یک چند جمله ای با ضرایب مثبت نیست؛ در واقع $\frac{1}{1+SIR}$ نسبت بین دو چند جمله ای با ضرایب مثبت است:

$$\frac{f(P)}{g(P)} = \frac{\sum_{j\neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}{\sum_{j\neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + G_{ii}F_{ii}P_i + n_i}$$

$$\frac{f(P)}{g(P)} = \frac{\sum_{j\neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}{\sum_{j}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i} \qquad (10)$$

مینیمم کردن یا حد بالا گذاشتن برای نسبت بین دو چند جمله ای با ضرایب مثبت مربوط به مساله های کاملا نامحدب است که آنها را با نام complementary-GP میشناسند.به طور کلی این مساله ها از گونه NP-hard هستند.

5-1- معرفی SP:

در این بخش بر روی Signomial Programming (SP) تمرکز میکنیم که یک حالت تعمیم یافته از GP است که نمیتوان آن را به حالت محدب تبدیل کرد.در حالت استاندارد GP فقط میتوان از کران بالا گذاشتن برای قید های استفاده نمود در حالی که گاهی نیاز به کران پایین گذاشتن برای یکی از قید های QoS میباشد.همچنین قید های برابری بر روی چند جمله ای های با ضرایب مثبت نیز در مدل سازی شبکه رایج هستند.اینها محدودیت هایی است که برای GP در حالت استاندارد وجود دارد.

این مشکلات با تعمیم GP به SP حل میشوند.کمینه کردن یک signomial[57] در حالی که کران بالا بر روی signomial ها می باشد و signomial را مجموع یک جمله ای ها با احتمال وجود ضرایب ضرب منفی به صورت زیر تعریف میکنیم.

$$s(x) = \sum_{i=1}^{N} c_i \prod_{j=1}^{n} x_j^{a_i^{(j)}}$$

در حالی که $c \in \mathcal{R}^N, \quad a_i^{(j)} \in \mathcal{R}, \quad \forall i,j, x \in \mathcal{R}_{++}^n$ همان طوری که در جدول(1) هم نشان داده شد SP طیف عظیمی از مساله های مقید تامیم یافته چند جمله ای را پوشش میددهد.فرم استاندارد GP مشخصا یک حالت خاص از SP است.مساله هایی با قیدهای برابری روی چند جمله ای های با ضرایب منفی شامل هر دو قید کران بالا

---

[57] *A signomial is an algebraic function of one or more independent variables.*

و کران پایین برای چند جمله ای های با ضرایب مثبت می باشد و همین موضوع نیز باعث تبدیل GP به SP میشود[12].پس میتوان یک سیگنومیال را به صورت رو به رو نیز نوشت $S(x) = \sum_{i=1}^{N} c_i g_i(x)$ در حالی که $c \in \mathcal{R}^n$ و $g_i(x)$ یک جمله ای میباشد[58].

5-2- روش تقریب محدب متوالی :

در اغلب مسائل بهینه سازی، به علت پیچیدگی محاسباتی که دارند، عملا بهینه سراسری به دست نمی‌دهند. بنابراین نیاز است تا با یک تقریب مناسب آن‌ها را به مساله های محدب تقریب زد و یک پاسخ قابل قبول با سادگی محاسبات به دست آورد .

مساله نا محدب زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} & minimize\ f_0(x) \\ & subject\ to\ f_i(x) \leq 1, \quad i = 1,2, \dots, m \end{aligned} \tag{11}$$

درحالی که f_0 محدب است بدون از دست دادن کلیتش[59] و $f_i(x),\ \forall i$ نامحدب میباشد.بخاطر این که حل مستقیم این مساله به حل یک مساله NP-hard منتهی میشود،ما می خواهیم این مساله را از طریق تقریب های متوالی $\tilde{f}_i(x) \approx f_i(x), \forall i$ استفاده کنیم؛که هر کدام میتواند به سادگی حل شود. میدانیم که اگر تقریب ما سه شرط زیر را ارضا کند سپس راه حل های این سری تقریب ها به نقطه ای رسیده اند که شرایط لازم کاروش – کوهن – تاکر (KKT[60])را برای مسئله اصلی برآورده می کنند.

1. $f_i(x) \leq \tilde{f}_i(x)$ برای همه x ها.
2. $f_i(x_0) = \tilde{f}_i(x)$ در جایی که x_0 جواب بهینه برای تقریب مساله در ایتریشن قبلی میباشد.
3. $\nabla f_i(x) \leq \nabla \tilde{f}_i(x)$.

الگوریتم زیر تقریب پی در پی عمومی را توصیف می کند.با توجه به روش تقریب $f_i(x)$ با $\forall i, \tilde{f}_i(x)$ یعنی اطراف نقطه مورد نظر x_0، اگوریتم زیر بردار خروجی را فراهم میکند که حالت KKT را برای مساله اصلی برآورده میسازد.

[58] An SP can always be converted into a complementary GP, because an inequality in SP, which can be written as $f_{i1}(x) - f_{i2}(x) \leq 1$, where $f_{i1}(x)$, $f_{i2}(x)$ are posynomials, is equivalent to an inequality $f_{i1}(x)/(1 + f_{i2}(x)) \leq 1$ complementary-GP.

[59] An SP can always be converted into a complementary GP, because an inequality in SP, which can be written as $f_{i1}(x) - f_{i2}(x) \leq 1$, where $f_{i1}(x)$, $f_{i2}(x)$ are posynomials, is equivalent to an inequality $f_{i1}(x)/(1 + f_{i2}(x)) \leq 1$ complementary-GP.

[60] Karush—Kuhn—Tucker conditions

5-3- اگوریتم 1) تقریب متوالی بر روی یک مساله نامحدب

1. انتخاب یک نقطه شدنی[61] در $x^{(0)}$ و قرار دادن $k = 1$
2. شکل دهی تقریب مساله(11) بر اساس نقط قبلی $x^{(k-1)}$
3. حل مساله تقریب خورده kام برای رسیدن به $x^{(k)}$
4. افرایش یک واحدی k و رفتن به مرحله دو تا زمانی که جواب به یک عدد ثابت همگرا شود.

5-4- روش تراکم منفرد: complementary-GP ها شامل پیدا کردن حد بالا برای نسبت بین چند جمله ای با ضرایب مثبت مانند(10)هستند؛اینها را میتوان با استفاده از تقریب مخرج نسبت بین چند جمله ای های با ضرایب مثبت به دست آورد به طوری که ،$g(x)$ را با یک تک جله ای $\tilde{g}(x)$ تقریب میزنیم،ولی $f(x)$ را به صورت چند جمله ای با ضرایب مثبت رها میکنیم.

نتیجه اساسی زیر را می توان به راحتی با استفاده از نابرابری میانگین-حساب-هندسی[62] اثبات کرد.

اصل(1): فرض کنید $g(x) = \sum_i u_i(x)$ یک پورینومیال باشد.پس:

$$g(x) \geq \tilde{g}(x) = \prod_i (\frac{u_i(x)}{\alpha_i})^{\alpha_i} \qquad (12)$$

اگر علاوه بر این برای هر نقطه ثابت x_0 داشته باشیم $\alpha_i = \frac{u_i(x_0)}{g(x_0)}, \quad \forall i,$ و همچنین $g(x_0) = \tilde{g}(x_0)$ باشد و $\tilde{g}(x)$ به معنای تقریب مرتبه اول تیلور، بهترین تقریب تک جمله ای محلی[63] برای $g(x)$ نزدیک به نقطه x_0 میباشد.

اصل بالا به سادگی ما را به نتیجه زیر میرساند.

5-5. قضیه(1): تقریب نسبت بین چند جمله ای های با ضرایب مثبت $f(x)/g(x)$ با $f(x)/\tilde{g}(x)$ در حالی که $\tilde{g}(x)$ یک تقریب تک جمله ای از $g(x)$ با استفاده ازتقریب میانگین-حساب-هندسی اصل(1) میباشد که سه شرط همرایی روش تقریب متوالی را برآورده میکند.

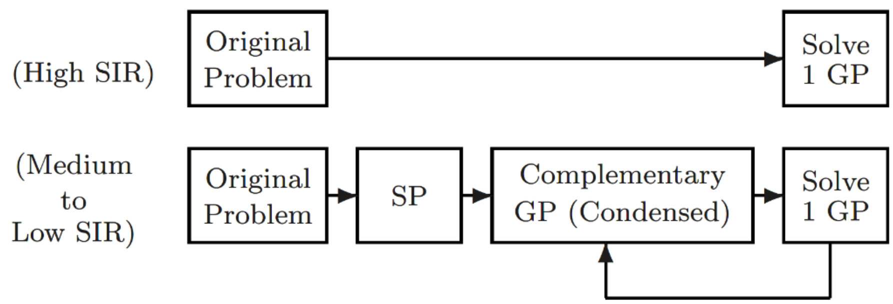
5-6. روش تراکم دوگانه: یک روش دیگر برای تقریب استفاده از دو تک جمله ای تقریبی برای صورت و مخرج $g(x)$ در (10) میباشد.با این حال برای تحقق سه شرط همگرایی روش تقریب متوالی،تک جمله ای مربوط به صورت(10) یعنی $f(x)$ باید شرط $f(x) \leq \tilde{f}(x)$ را ارضا کند.

---

[61] feasible
[62] arithmetic-mean-geometric-mean inequality
[63] local monomial approximation

5-7. استفاده از روش تقریب محدب متوالی برای کنترل توان:

شکل(6) نشان دهنده بلوک دیاگرام رویکرد GP پایه برای کنترل قدرت برای رژیم های SIR مختلف میباشد[3]. در حالت با SIR بالا ما تنها نیاز به حل یک GP داریم.در حالت های با SIR متوسط و یا SIR پایین ما مساله های کاملا نامحدب را حل میکنیم که نمیتوان آنها را از طریق یک سری GP به صورت محدب فرموله بندی کرد.



شکل(6)رویکرد های حل مساله از طریق GP برای حالت هایی با SIR مختلف

مساله های GP پایه در حالت هایی با SIR متوسط و پایین به SP تبدیل میشوند؛که یا از طریق روش تراکم منفرد یا از روش تراکم دوگانه قابل حل میباشد ولی ما در اینجا بر روری روش تراکم منفرد تمرکز داریم. یک فرمول نماینده برای به حداکثر رساندن توان کل سیستم در یک شبکه بی سیم تلفن همراه در نظر بگیرید.با قید های نرخ داده کاربران و احتمال قطع مثل(8) .که میتوانیم آن را به صورت زیر بنویسیم.

$$
\begin{aligned}
&minimize \prod_{i=1}^{N} \frac{1}{1+SIR_i} \\
&subject\ to\ (2^{TR_{i,min}-1}) \frac{1}{SIR_i} \le 1\,, \qquad i = 1,2,\dots,N\ , \\
&\qquad (SIR_{th})^{N-1}(1-P_{o.i,max}) \prod_{i\neq j}^{N} \frac{G_{ij}P_j}{G_{ii}P_i} \le 1, i = 1,\dots,N, \\
&\qquad P_i\ (P_{i,max})^{-1} \le 1,, \qquad i = 1,2,\dots,N\ .
\end{aligned}
\tag{13}
$$

همه قیدها چند جمله ای با ضرایب مثبت هستند ولی تابع هدف چند جمله ای با ضرایب مثبت نیست بلکه نسبت بین دو چند جمله ای با ضرایب مثبت است مثل(10).این مساله تخصیص توان را میتوان از طریق روش های تراکمی با استفاده از حل متوالی GP ،حل کرد. ما در اینجا الگوریتم روش تراکمی منفرد را بر روی مساله داریم که به صورت زیر میباشد.

5-8. اگوریتم2 کنترل قدرت GP تراکمی منفرد.

1) تعیین کردن مخرج تابع هدف در(12)به صورت چند جمله ای با ضرایب مثبت با استفاده از P داده شده

2) برای هر اصطلاح i در این چند جمله ای با ضرایب مثبت محاسبه کن:

$$\alpha_i = \frac{\text{value of } i\text{th term in posynomial}}{\text{value of posynomial}}$$

3) مخرج چند جمله ای با ضرایب مثبت تابع هدف(12) را با استفاده از (11) با وزن α_i به تک جمله ای متراکم کنید.

4) GP به دست آمده را با استفاده از روش های نقطه درونی حل کنید.

5) به مرحله 1 برگرد(با استفاده از P به دست آمده از مرحله قبل یعنی4).

6) خاتمه دادن به حلقه Kام اگر که $\left\|P^{(K)} - P^{(k-1)}\right\| \leq \varepsilon$ در حالی که ε خطای قابل تحمل برای ایجاد شرایط خروج از حلقه است

همچنان که متراکم کردن تابع هدف در مساله(12)،جوابی به ما میدهد که یک تخمین کم برای تابع هدف است،در هر حلقه تکرار تراکم ،GP سعی میکند تا دقت تقریب را افزایش دهد و در فضای شدنی مساله جواب را به مقدار اصلی مینیمم نزدیک تر کند.هر سه شرط لازم برای همگرایی برآورده شده است و الگوریتم همگرا میباشد.از طریق آزمایش های عددی گسترده در[1] به این نتیجه رسیده اند که این الگوریتم معمولا مقدار مینیمم کلی را به ما میدهد.

5-9. مثال عددی(4): مثال برای حل با روش تراکم منفرد:در این شبکه ای مطابق آنچه آورده ایم تعریف میشود و سعی به برآورده سازی تابع هدف و قیدهایی مطابق با (13)داریم

یک شبکه بی سیم سلولی را با n کاربر در نظر بگیرید که ما در اینجا n=3 در نظر میگیریم.مقدار T را برابر با 10^{-6} در نظر بگیرید و G را برابر با یک توزیع گوسی با میانگین 0 و انحراف معیار 0.25 میباشد.

و قطر اصلی ماتریس G که باید در K ضرب شود را برابر با 1.5 در نظر میگیریم.مقدار $SIR_{\text{threshord}}$ رابه صورت $SIR_{th} = -10\ dB$ قرار میدهیم و مینیمم نرخ ارسال داده مورد نیاز را برای لینک های 1و 2و 3 به ترتیب برابر با 100kb/s و 600kb/s و 1000kb/s قرار میدهیم.ماکزیمم احتمال قطع به صورت $P_{o.i.max} = 0.01$ برای همه لینک ها میباشد.و ماکسیمم توان ارسالی برای لینک های 1و 2و 3 به ترتیب برابر با 3mW ، 4mW و 5mW میباشد.در[13] از روش ذکر شده در بالا مساله را 500 بار حل کرده اند و نتیجه تجربی این که در 96 درصد اوقات به نقطه مینیمم کلی همگرا میشود.برای حل این مساله تعریف تابع هدف obj به صورت زیر میباشد و مخرج تابع هدف g(x) و α_i و $\tilde{g}(x)$ نیز به ترتیب تعریف شده اند.ما برای حل این مثال از روش تراکم منفرد استفاده میکنیم و کدهای مربوط به آن در ضمیمه(د) موجود میباشد.

تابع هدف را میتوان به صورت زیر بازنویسی کرد:

(14)

$$Obj = \prod_{i}^{N} \frac{1}{1+SIR_i} = \prod_{i} \frac{1}{1+\frac{G_{ii}F_{ii}P_i}{\sum_{j\neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}} = \prod_{i} \frac{1}{\frac{G_{ii}F_{ii}P_i + \sum_{j\neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}{\sum_{j\neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}}$$
$$= \prod_{i} \frac{\sum_{j\neq i}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}{\sum_{j=1}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}$$

مخرج تابع هدف که همان $g(x)$ است به صورت زیر میباشد:

$$g(x) = \sum_{j=1}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i \qquad (15)$$

مقدار α_i به صورت زیر در هر تکرار تعیین میشود.

$$\alpha_i = \prod_{i} \frac{G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}{\sum_{j=1}^{N} G_{ij}F_{ij}P_j + n_i} \qquad (16)$$

و بالاخره مقدار $\tilde{g}(x)$ را به صورت زیر در .

$$\tilde{g}(x) = \prod_{i} \left(\frac{G_{ij}F_{ij}P_j + n_i}{\alpha_i}\right)^{\alpha_i} \qquad (17)$$

فصل ششم

6– ضمیمه ها

6-1. ضمیمه(الف): در این قسمت کد ها مربوط به مدل سازی مساله عددی(1) برای حل مساله(7)گرد آوری شده است.

```
clc;clear
d=[1,5,10,15,20];
[~ ,n]=size(d);          % number of transmitters and receivers
sigma = 0.0000005*ones(n,1); % noise power at the receiver i

Pmin = 0.000000001*ones(n,1);% minimum power at the transmitter i
Pmax = 0.0005*ones(n,1);    % maximum power at the transmitter i
K=3;

Threshold_SIR=[-5:1:0 , 0.5:0.5:10];

gama=[4];
gama_dB=10^(gama/10);
g=(d.^(-gama_dB));
G=repmat(g,[n,1]);

% path gain matrix
G=diag(diag(G))*K + ( G-diag(diag(G)));

%model Rayleigh fading
% F=exprnd(1,[n,n]);
F =[2.3735    1.1265    0.1252    0.3632    1.3484
   0.9194    1.2361    0.8541    2.3478    0.5248
   0.0208    0.1290    1.7628    0.3100    1.4801
   0.6111    0.2496    0.8558    2.0401    0.0459
   0.0917    0.9304    0.7870    0.7001    2.7645 ];

SIR_dB=zeros(5,length(Threshold_SIR));
for j=1:2:5

  for m=1:length(Threshold_SIR)
    SIR_min = 10^(Threshold_SIR(m)/10);

    cvx_begin gp
%          cvx_solver <Mosek>
      variable P(n)
      variables s(1)

      Gdiag = diag(G);        % the main diagonal of G matrix
      Fdiag = diag(F);
      Gtilda = G - diag(Gdiag); % G matrix without the main diagonal
      Ftilda= F-diag(Fdiag);
      FG=Ftilda.*Gtilda;

      %1/SIR = ISR
      expression inverseSINR(1,n)
      inverseSIR = (sigma + FG*P)./(Gdiag.*Fdiag.*P);
      %SIR
      expression SIR(1,n)
      SIR=(Gdiag.*Fdiag.*P)./(sigma + FG*P);%cvx log-concave

      % maximizing(Ri) can be turned into equivalently maximizing
      % an auxiliary variable (t) such that SIRi(P) ? exp(t),?i
      %SIR is cvx log-concave expression and we use inverseSIR
      %instade of SIR so the maximizing(t) can be terned
      %into minimize(s) subject to inverseSIR(i)<=(s)
      minimize( (s) )

       subject to
        inverseSIR(j) <= (s);

        % defining of ( R >= R_min; ) equal to SIR>=SIR_min
        %SIR>=SIR_min equal to inverseSIR<=1/SIR_min
        inverseSIR <= (1/SIR_min);
        P(j)*G(j,j) == P(2)*G(2,2);
        % power limit
        Pmin <= P <= Pmax;
      cvx_end

      SIR_dB(j,m)=10*log( (1/inverseSIR(j)) )/log(10);

      disp(['***j= ' num2str(j) ' ***k= ' num2str(m) ...
          ' ****** SIR_dB= ' num2str(SIR_dB(j,m))  ...
          ' ******* Threshold_SIR= ' num2str(SIR_min) ...
          'dB = ' num2str(Threshold_SIR(m)) '****' ])

      if SIR_dB(j,m)<=-100
        SIR_dB(j,m:end)=-inf;
        break
      end
    end
  disp('%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
end

plot(Threshold_SIR,SIR_dB(1,:),'LineWidth',2 , ...
    'MarkerSize',1,'DisplayName','near')
hold on
plot(Threshold_SIR,SIR_dB(1,:),'^','LineWidth',1 ...
  ,'MarkerSize',8,'DisplayName','near data')
plot(Threshold_SIR,SIR_dB(3,:),'--','LineWidth',2 ...
  ,'MarkerSize',1,'DisplayName','medium')
plot(Threshold_SIR,SIR_dB(3,:),'o','LineWidth',1 ...
  ,'MarkerSize',8,'DisplayName','medium data')
plot(Threshold_SIR,SIR_dB(5,:),':','LineWidth',2 ...
  ,'MarkerSize',1,'DisplayName','far')
plot(Threshold_SIR,SIR_dB(5,:),'*','LineWidth',1 ...
  ,'MarkerSize',8,'DisplayName','far data')
legend('show')
title('Optimized SIR vs. Threshold SIR')
xlabel('Threshold SIR','FontSize',12,'FontWeight','bold')
ylabel('Optimized SIR','FontSize',12,'FontWeight','bold')
grid on
```

6-2. ضمیمه(ب): در این قسمت کد های مربوط به حل مثال عددی(2) جمع آوری شده است.

```
clc;clear
d=[1,5,10,15,20];
[~ ,n]=size(d);           % number of transmitters and receivers
sigma = 0.0000005*ones(n,1); % noise power at the receiver i

Pmin = 0.000000001*ones(n,1);% minimum power at the transmitter i
Pmax = 0.0005*ones(n,1);    % maximum power at the transmitter i
K=3;

Pomax=0.01;

Threshold_SIR=[-5:0.5:0 , 0.5:0.1:10];


d=[1,5,10,15,20];
T=3*10^-6;

gama=[4];
gama_dB=10^(gama/10);
g=(d.^(-gama_dB));
% path gain matrix
G=repmat(g,[n,1]);
G=diag(diag(G))*K + G;

%model Rayleigh fading
F=exprnd(1,[n,n]);

R_system=zeros(1,length(Threshold_SIR));
for m=1:length(Threshold_SIR)
  SIR_min = 10^(Threshold_SIR(m)/10);
  cvx_begin gp
%         cvx_solver <Mosek>
    variable P(n)
    variables s(1)

    Gdiag = diag(G);        % the main diagonal of G matrix
    Fdiag = diag(F);
    Gtilda = G - diag(Gdiag); % G matrix without the main diagonal
    Ftilda= F-diag(Fdiag);
    FG=Ftilda.*Gtilda;

    %1/SIR = ISR
    expression inverseSINR(1,n)
    inverseSIR = (sigma + FG*P)./(Gdiag.*Fdiag.*P);
    %SIR
    expression SIR(1,n)
    SIR=(Gdiag.*Fdiag.*P)./(sigma + FG*P);%cvx log-concave
    Po = (1 + (SIR_min*Gtilda*P./ Gdiag.*P));

  minimize( (s) )
  subject to
     prod(inverseSIR(:)) <= (s);
     % defining of ( R >= R_min; ) equal to SIR>=SIR_min
     %SIR>=SIR_min equal to inverseSIR<=1/SIR_min
     inverseSIR <= (1/SIR_min);
     Po <= 1/(1-Pomax);
```

```
cvx_end

  R=(1/T)*(log( (Gdiag.*Fdiag.*P)./(sigma + FG*P) )/log(2));
  R_system(m)= ( sum(R) );

  disp([' ***k= ' num2str(m) ...
      ' ****** R_system= ' num2str(R_system(m))  ...
      ' ******* Threshold_SIR= ' num2str(SIR_min) ...
      'dB = ' num2str(Threshold_SIR(m)) '****' ])

  if strcmpi(cvx_status,'Infeasible')
    R_system(m:end)= inf;
    break
  end
end


plot(Threshold_SIR,R_system(:),'LineWidth',2 , ...
    'MarkerSize',1,'DisplayName','R-system')
hold on
  txt1=['data of PoMax= '  num2str(Pomax) ];
plot(Threshold_SIR,R_system(:),'o','LineWidth',1 ...
  ,'MarkerSize',8,'DisplayName','data of R-system' )

legend('show')
title('Optimized R-system vs. Threshold SIR')
xlabel('Threshold SIR','FontSize',12,'FontWeight','bold')
ylabel('Optimized R-system','FontSize',12,'FontWeight','bold')
grid on
```

6-3. ضمیمه(ج): در این قسمت کد های مربوط به حل مثال عددی(3) جمع آوری شده است.

```
clc;clear
d=[1,5,10,15,20];
[~ ,n]=size(d);          % number of transmitters and receivers
sigma = 0.0000005*ones(n,1); % noise power at the receiver i

Pmin = 0.000000001*ones(n,1);% minimum power at the transmitter i
Pmax = 0.0005*ones(n,1);    % maximum power at the transmitter i
K=3;

Pomax=0.01;

Threshold_SIR=[-5:0.5:0 , 0.5:0.1:10];


d=[1,5,10,15,20];
T=3*10^-6;

gama=[4];
gama_dB=10^(gama/10);
g=(d.^(-gama_dB));
% path gain matrix
G=repmat(g,[n,1]);
G=diag(diag(G))*K + G;

%model Rayleigh fading
F=exprnd(1,[n,n]);

R_system=zeros(1,length(Threshold_SIR));
for m=1:length(Threshold_SIR)
   SIR_min = 10^(Threshold_SIR(m)/10);
   cvx_begin gp
%          cvx_solver <Mosek>
      variable P(n)
      variables s(1)

      Gdiag = diag(G);        % the main diagonal of G matrix
      Fdiag = diag(F);
      Gtilda = G - diag(Gdiag); % G matrix without the main diagonal
      Ftilda= F-diag(Fdiag);
      FG=Ftilda.*Gtilda;

      %1/SIR = ISR
      expression inverseSINR(1,n)
      inverseSIR = (sigma + FG*P)./(Gdiag.*Fdiag.*P);
      %SIR
      expression SIR(1,n)
      SIR=(Gdiag.*Fdiag.*P)./(sigma + FG*P);%cvx log-concave
      Po = (1 + (SIR_min*Gtilda*P./ Gdiag.*P));

   minimize( (s) )
   subject to
       prod(inverseSIR(:)) <= (s);
       % defining of ( R >= R_min; ) equal to SIR>=SIR_min
       %SIR>=SIR_min equal to inverseSIR<=1/SIR_min
       inverseSIR <= (1/SIR_min);
       Po <= 1/(1-Pomax);

% power limits
        Pmin <= P <= Pmax;
   cvx_end

   Power(k)=sum(P);

   disp([' ***k= ' num2str(k) ' ****** Total Power= ' num2str(Power(k))
...
       ' ***** Pomax= ' num2str(Pomax)  ' ***** Threshold_SIR= '
num2str(SIR_min) ...
           'dB = ' num2str(Threshold_SIR(k)) ' ****'  ])

   if strcmpi(cvx_status,'Infeasible')
      Power(k:end)=inf;
      break
   end

end

plot(Threshold_SIR(:),Power(:),'LineWidth',2 ,'MarkerSize',1)
hold on
plot(Threshold_SIR(:),Power(:),'o','LineWidth',2 ,'MarkerSize',8)

title('Optimized Power vs. Threshold SIR')
xlabel('Threshold SIR','FontSize',12,...
      'FontWeight','bold')
ylabel('Optimized Power','FontSize',12,...
      'FontWeight','bold')
grid on


disp('Optimal power levels are: '),P
disp( ['Ptot = ' ,num2str(1000*sum(P))] )
```

6-4. ضمیمه(د): در این قسمت کد های مربوط به حل مثال عددی(4) جمع آوری شده است

```
clc;clear
n=3;
sigma=0.5*10^-4;
K=3;
G=0.25*abs(randn(n));
G=diag(diag(G))*K + G;

G= (  G-diag(diag(G)) + diag(repmat(1.5,[n,1]))  );
F=exprnd(1,[n,n]);

Gdiag = diag(G);        % the main diagonal of G matrix
   Fdiag = diag(F);
   Gtilda = G - diag(Gdiag); % G matrix without the main diagonal
   Ftilda= F-diag(Fdiag);
   FG=Ftilda.*Gtilda;

T=10^-6;
Pmax=((3:1:n+2)*10^-3)';

Po_max=0.01;
SIR_Threshold_dB=-15;
SIR_Threshold=10^(SIR_Threshold_dB/10);

R_min=[ [100,600,1000],round(unifrnd(100,1000, [1,n-3]))]*10^3;

%% Successive approximation to a nonconvex problem
MaxIt=20;

iter.P=[];
iter.SIR=[];
iter.Rsystem=[];

iteration=repmat(iter,1,MaxIt);

it=1;
for it=1:MaxIt

   disp(['iteration = ' num2str(it)])

   if it==1
      disp('Chooseing an initial feasible P')
%       P=[0.002917    0.003961    0.003422]';
      P= unifrnd(0 , Pmax(3), [1,n])' ;
      disp(['P= ' num2str(P')])

   elseif strcmpi(cvx_status,'Infeasible')
      P= unifrnd(0 , Pmax(3), [1,n])' ;
   end

   %% Form an approximated problem
   g=(sum(F.*G*P+sigma));
   %alpha=ui(x)/g(x)
   alpha= (G.*F*P+sigma) ./ g ;
   g_tilda=prod( ((G.*F*P+sigma)./alpha).^-alpha );

   disp(['g_tilda= ' num2str(g_tilda)])
   disp(['P= ' num2str(P')])

   iteration(it).P=P;

   SIR=(Gdiag.*Fdiag.*P)./(sigma + FG*P);
   iteration(it).SIR=SIR;

   R=(1/T)*(log(K.*SIR)/log(2));
   Rsystem=sum(R);
   iteration(it).Rsystem=Rsystem;

   %% run cvx
   cvx_begin GP
   variable P(n)
   variables t(1)

   inverseSIR = (sigma + FG*P)./(Gdiag.*Fdiag.*P);
   SIR=(Gdiag.*Fdiag.*P)./(sigma + FG*P);

   Po = (1 + (SIR_Threshold*Gtilda*P ./ Gdiag.*P) );


   minimize( prod( (Ftilda.*Gtilda*P+sigma)./g_tilda ))

   subject to
      2.^(T*R_min-1).*inverseSIR'<=1;
%       inverseSIR<=1/SIR_Threshold;
      SIR_Threshold^(n-1)*(1-Po_max)*prod( Gtilda.*Ftilda*P
./Gdiag.*Fdiag.*P )<=1;
%       Po <= 1/(1-Po_max);
      P.*(Pmax).^-1<=1;

   cvx_end


   if  strcmpi(cvx_status,'Infeasible')
      iteration(it).P = inf;
   else
      if it>=2 && sum(abs(iteration(it).P -iteration(it-1).P))<=10^-10
         break
      end
   end

end
%% plot
Pit=inf(1,MaxIt);
for i=1:n
   for it=1:MaxIt
      if ~isempty(iteration(it).P)
         P=iteration(it).P;
         Pit(it)=P(i);
      end
   end

   tex=['user ' num2str(i)];
   semilogy(1:1:MaxIt,Pit,'LineWidth',2,'DisplayName', tex )
   hold on
end
legend('show')
title('User Optimized Power vs. iteration')
xlabel('Iteration','FontSize',12,...
    'FontWeight','bold')
ylabel('User Optimized Power','FontSize',12,...
    'FontWeight','bold')
grid on
```

منابع:

1. M. Chiang, P. Hande, T. Lan, and C. W. Tan, “Power control in wireless cellularnetworks,”Foundations and Trends in Networking, vol. 2, no. 4, pp. 381—533, July2008
2. D. Julian, M. Chiang, D. ONeill, and S. Boyd, “QoS and fairness constrained convexoptimization of resource allocation for wireless cellular and ad hoc networks,”Proc.IEEE INFOCOM, June 2002
3. M. Chiang, C. W. Tan, D. Palomar, D. O’Neill, and D. Julian, “Power control by geometric programming,”IEEE Trans. Wireless Commun.,vol.6,no.7,pp.2640—2651, July 2007
4. Yu. Nesterov and A. Nemirovsky,Interior Point Polynomial Methods in Convex Programming,SIAM Press, 1994
5. P.A.Parrilo,“Semidefinite programming relaxations for semi-algebraic problems,”Math. Program., vol. 96, pp. 293—320, 2003
6. M. Chiang, P. Hande, T. Lan, and C. W. Tan, “Power control in wireless cellularnetworks,”Foundations and Trends in Networking, vol. 2, no. 4, pp. 381—533, July2008
7. S. Kandukuri and S. Boyd, “Optimal power control in interference limited fading wire-less channels with outage probability specifications,”IEEE Trans. Wireless Commun.,vol. 1, no. 1, pp. 46—55, January 2002
8. N. Bambos, “Toward power-sensitive network architectures in wireless communica-tions: Concepts, issues, and design aspects,”IEEE Pers. Commun. Mag.,vol.5,no.3, pp. 50—59, 199
9. G. Foschini and Z. Miljanic, “A simple distributed autonomous power control algo-rithm and its convergence,”IEEE Trans. Vehicular Technol., vol. 42, no. 4, 199
10. D. Mitra, “An asynchronous distributed algorithm for power control in cellular radiosystems,”Proc. 4th WINLAB Workshop,RutgersUniversity,NJ,199
11. S. Kandukuri and S. Boyd, “Optimalpower control in interferencelimited fading wireless channels with outage probability specifications,”IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 1, no. 1, pp. 46-55, Jan. 2002.
12. M. Chiang, “Geometric programming for communication systems,”FoundationsTrends Commun. Inf. Theor., vol. 2, no. 1—2, pp. 1—156, August 2005.
13. CheeWei Tan,DanielP. Palomar, MungChiang “Solving Nonconvex Power Control Problems in Wireless Networks :Low SIR Regime and Distributed Algorithms” GLOBECOM '05. IEEE Global Telecommunications Conference, 2005.
14. Stephen Boyd , Lieven Vandenberghe “Convex Optimization” Cambridge University Press 2004

Kermanshah University of Technology

Faculty of Energy

Department of Electrical Engineering

B.S.Thesis

Investigating and solving the communication nonconvex power allocation problem

Supervisor:

Dr.Abdolhamid Zahedi

By:

Amir hatami

December 2020