

Optimal Resource Allocation with Users Mobility Consideration in Uplink DS-CDMA System

حسام محمد حسینی
دانشکده فنی و مهندسی
دانشگاه تربیت مدرس
صندوق پستی ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵، تهران، ایران
h_mhosseini@modares.ac.ir

چکیده - با توجه به افزایش تقاضا برای سیستم‌های بی‌سیم و محدودیت منابع در این شبکه‌ها، تخصیص و مدیریت بهینه منابع شبکه اهمیت روز افزونی پیدا نموده است. چنین تخصیص منابعی باید سعی نماید، علاوه بر برآورده کردن خواسته‌های کاربران مانند QoS، شرایط پویای کاربران، منابع موجود، و تقاضای^۱ متغیر برای منابع را نیز در نظر بگیرد. در این مقاله با استفاده از یک مدل مارکف برای حرکت کاربران، به همراه تخصیص بهینه منابع، به تحلیل و بررسی ظرفیت multimedia در فراسو^۲ در شبکه DS-CDMA پرداخته‌ایم. این روش می‌تواند به عنوان روشی برای بررسی ظرفیت در سیستم‌های CDMA مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهد در نظر گرفتن حرکت کاربران منجر به یافتن تقریب دقیق و مناسب‌تری از ظرفیت و از کارایی شبکه CDMA در لحظات متوالی، و در مقایسه با مقالات قبلی، می‌شود. از این مدل حرکتی برای مطالعه در زمینه شبکه‌های Ad Hoc نیز می‌توان استفاده نمود.

کلمات کلیدی - برنامه‌ریزی ریاضی^۳، تخصیص بهینه منابع^۴، CDMA، مدل‌سازی حرکت^۵، مسایل بهینه‌سازی^۶، گیرنده‌های معمولی^۷.

۱. مقدمه

سیستم‌های DS-CDMA به عنوان تکنیکی برای دسترسی چندگانه به منابع شبکه، در مقابل روشهای متداول قدیمی‌تر مانند FDMA و TDMA، برای نسل بعدی شبکه‌های بی‌سیم مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند [1]. این شبکه‌ها کاربرد^۸‌های متنوعی مانند، صوتی، تصویری، و چندرسانه‌ای^۹، با خواسته‌های متفاوتی مثل سرعت ارسال SIR و ... را فراهم می‌نمایند.

¹ Demand

² Up-Link(UL)

³ Mathematical Programming

⁴ Optimal Resource Allocation

⁵ Mobility Modeling

⁶ Optimization Problem

⁷ Conventional Receiver

⁸ Application

⁹ Multimedia

تحلیل^۱ ظرفیت برای طراحی سیستم، کنترل تقاضای تماس و تخصیص منابع در شبکه‌های بی‌سیم حیاتی است [1-2]. در سیستم‌های مبتنی بر TDMA (FDMA) مقدار مشخصی از منابع مانند مدت زمانی (پهنای باندی) برای ارسال هر کاربر (از پیش تعیین شده) تخصیص می‌یابد. بر خلاف این سیستم‌ها، در شبکه‌های مبتنی بر CDMA همه کاربران از پهنای باند موجود سیستم استفاده می‌نمایند. بنابراین عامل اصلی محدود کننده ظرفیت در سیستم CDMA تداخل ناشی از کاربران دیگر برای کاربر مورد بررسی است. در عین حال، در مورد حداکثر توان ارسالی هر کاربر نیز، با توجه به محدودیت توان باتری، محدود هستیم.

سوال اصلی که در این مقاله سعی شده به آن پاسخ داده شود این است که؛ آیا حل بهینه برای تخصیص منابع، شامل توان، سرعت ارسال و ...، مستقل از نحوه حرکت کاربران در محیط است؟. این مقاله به ترتیب زیر این موضوع را دنبال می‌نماید. در بخش ۲ شرح مختصری از تخصیص بهینه منابع در سیستم‌های CDMA به همراه مرور مقالات ارائه می‌شود. در بخش ۳ به توصیف مدل سیستم مورد بررسی و فرمول‌بندی مساله و توضیح حل آن، بر اساس مقاله [11]، می‌پردازیم. بخش ۴ با ارائه قیدهای مناسب‌تر به بررسی مجدد مساله تخصیص بهینه توان می‌پردازیم. در بخش ۵، و به کمک قیدهای پیشنهادی بخش ۴، به مطالعه و بدست آوردن روابطی بین بازه زمانی انجام عملیات تخصیص بهینه منابع و دیگر پارامترهای سیستم می‌پردازیم. توضیحات شبیه‌سازی انجام شده و نمودارهای مربوطه در بخش ۶ و نتیجه گیری و پیشنهاد برای ادامه موضوع در بخش ۷ مطرح می‌گردد.

۲. معرفی و مرور مقالات

مساله تخصیص منابع در سیستم‌ها با منابع محدود از ابتدا مورد توجه بوده است. سیستم‌های TDMA و FDMA مثالی از تخصیص منابع در سیستم‌های مخابراتی می‌باشند. با افزایش تعداد کاربران، متنوع شدن کاربردها و خواسته‌های گوناگون کاربران سیستم CDMA، به عنوان جایگزین، مطرح گردید. به دلیل افزایش تعداد کاربران و تنوع یافتن نیازهای مورد نظر آن‌ها و همچنین محدودیت‌های گوناگون روی منابع، پژوهش در زمینه تخصیص بهینه منابع در شبکه‌های مبتنی بر CDMA توجه خاصی را به خود جلب کرده است.

در مقالات متعددی با معرفی مفهوم سودمندی^۲ برای کاربر و شبکه مساله تخصیص بهینه منابع دنبال گردیده است. این مفهوم، که از مباحث اقتصادی وارد این حوزه شده است، عموماً به صورت تابعی از حالت کانال، تاخیر کاربر مورد نظر، و مقدار بار شبکه تعریف می‌گردد [3]. معمولاً هدف مقالات بیشینه نمودن سودمندی شبکه، که عموماً به صورت مجموع سودمندی کاربران تعریف می‌گردد، است [3]. در همین راستا، و از منظر اقتصادی مقالات به دنبال تخصیص عادلانه^۳ منابع،

¹ Analysis

² Utility

³ Fair

تخصیص منابع با هدف بیشتر نمودن درآمد^۱ سرویس دهنده در شبکه، و یا تخصیص برای بیشینه نمودن رفاه^۲ کاربران بوده‌اند[4-5-6-7-8]. مقاله [5] تخصیص منابع و قیمت‌گذاری^۳ را در فراسو بررسی نموده است. در این مقاله استفاده از روش‌های قیمت‌گذاری برای تخصیص منابع رادیویی مطرح گردیده است.

در مقاله [6] دو نحوه تخصیص مبتنی بر عدالت^۴ و مبتنی بر سودمندی بررسی گردیده است. مقاله [7] با در نظر گرفتن متغیر بودن تقاضا^۵ برای منابع در شبکه، اقدام به تخصیص عادلانه و غیر متمرکز^۶ سرعت ارسال کاربران نموده است. پژوهش در زمینه تحلیل ظرفیت و کنترل توان کاربر در سیستم سلولی با [9] آغاز گردیده است. [10] به بررسی ماکزیم نمودن ظرفیت تئوری اطلاعاتی شبکه CDMA و ارتباط آن با تخصیص بهینه منابع پرداخته است. در بعضی مقالات مانند [11-12-13] برای مطالعه تخصیص بهینه منابع فرض بر استفاده از گیرنده‌های معمولی گردیده است؛ در حالیکه بعضی مقالات مثل [10] فرض بر استفاده از آشکارسازی چندکاربره نموده‌اند. مقالات [11-12-13-14-15-16] به ارزیابی مدل‌هایی برای مساله تخصیص (بهینه) منابع، تحلیل و بررسی کارایی آن‌ها نموده‌اند. [17] مروری از مقالات و روش مدل نمودن تخصیص منابع رادیویی تا سال ۲۰۰۱ را ارائه نموده است.

در [18] با در نظر گرفتن همبستگی سیگنال کاربران و خطای کنترل توان، تحلیل تاخیر و throughput با استفاده از بهره پردازش متغیر^۷ در سیستم CDMA انجام شده است. در [19] شمای کنترل تقاضای تماس و تخصیص منابع با آگاهی زمانی^۸ برای شبکه بی‌سیم سلولی ارائه گردیده است. این مقاله در زمان‌های تخصیص، سه عامل طول عمر ارتباط، خطای^۹ قطع ارتباط، و حساسیت به سرعت تخصیص مجدد را مد نظر گرفته است.

در این مقاله با مبنا قرار دادن مقاله [11] و به کارگیری مدل حرکتی کاربران در [۲۰]، فرض بر استفاده از گیرنده‌های معمولی، عدم استفاده از آشکارسازی چندکاربره^{۱۰}، و نیز کنترل توان کامل^{۱۱} داریم. همچنین از مسایل مرتبط با تاخیر نیز صرف نظر می‌شود.

۳. مدل سیستم و فرمول‌بندی

فرض می‌نماییم W پهنای باند سیستم، P_i'' توان ارسالی در UL از کاربر i به BS، و R_i سرعت ارسال کاربر مربوطه است. SIR دریافتی از کاربر i در محل BS به صورت

¹ Revenue

² Welfare

³ Pricing

⁴ Fairness

⁵ Demand

⁶ Decentralized

⁷ Variable Spreading Gain(VSG)

⁸ Time-Aware

⁹ Penalty

¹⁰ Multi User Detection(MUD)

¹¹ Perfect Power Control

$$SIR_i'' = \frac{W}{R_i} \frac{h_i P_i''}{\theta'' (\sum_{j \neq i} h_j P_j'' + I_0)}, \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

است که در آن θ'' ضریب عمود بودن در مسیر UL، که میزان عمود بودن کدها را نشان می‌دهد، می‌باشد. با فرض سنکرون بودن سیگنال‌های دریافتی از کاربران مختلف، θ'' عموماً 2/3 یا 1 در نظر گرفته می‌شود [11].

فرض می‌نماییم که N کاربر فعال داریم. دو بردار $\mathbf{P}=[P_1'', P_2'', \dots, P_N'']$ و $\mathbf{R}=[R_1'', R_2'', \dots, R_N'']$ را تشکیل می‌دهیم. خواسته QoS مورد نظر کاربر i ($i=1,2,\dots,N$)، شامل حداقل سرعت ارسال قابل قبول r_i ، و حداقل SIR مورد نظر γ_i است. همچنین حداکثر توان ارسالی در UL با $P_{i\max}''$ محدود می‌شود. بهره کانال کاربر i ام h_i و نویز زمینه دریافتی در محل BS I_0 است. بنابراین اگر سیستم بخواهد خواسته‌های کاربران را بدون نقض کیفیت مورد نظر، QoS روی SIR دریافتی و سرعت ارسال، تامین نماید باید دسته نامساوی‌های زیر ارضا گردند:

$$\begin{cases} SIR_i'' \geq \gamma_i, \\ R_i \geq r_i, \\ 0 \leq P_i'' \leq P_{i\max}'', \quad (i=1,2,\dots,N) \end{cases} \quad (2)$$

این دستگاه نامساوی‌ها مدل محدودیت (مدل مقید)¹ UL در سیستم multimedia در DS-CDMA است. در واقع (2)، دسته قیدهایی (محدودیت‌هایی) برای مسایل بهینه‌سازی است. یک مساله نوعی می‌تواند مینیمم نمودن مجموع توان ارسالی باشد. برای مینیمم نمودن مجموع توان ارسالی کاربران در سیستم با مساله بهینه‌سازی زیر مواجه می‌شویم:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{P}'', \mathbf{R}} \quad & \sum_{i=1}^N P_i'' \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} SIR_i'' \geq \gamma_i, \\ R_i \geq r_i, \\ 0 \leq P_i'' \leq P_{i\max}'', \quad (i=1,2,\dots,N) \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

بردارهای \mathbf{P}'', \mathbf{R} را که در نامساوی‌های (2) صدق نمایند، یک جواب ممکن² برای مدل محدودیت نامیده می‌شود. برای پارامترهای داده شده مساله، $(N, r_i, \gamma_i, h_i, \text{ect.})$ ، اگر جواب(های) ممکن وجود داشته باشد، در این صورت سیستم می‌تواند تمام خواسته‌های کاربران را به صورت همزمان تامین نماید. در غیر این صورت، سیستم قادر به پاسخ‌گویی (برآورده کردن) نیازهای تمامی کاربران نبوده و حالت outage رخ می‌دهد. بنابراین از وجود جواب(های) ممکن به مدل محدودیت (2)، می‌توان برای تحلیل ظرفیت سیستم استفاده نمود. شرط لازم و کافی برای وجود جواب‌های ممکن را شرایط ممکن³ آن مدل مقید می‌نامند. به بیان دیگر، در اینجا، ظرفیت

¹ Constraint Model

² Feasible Solution

³ Feasible Condition

سیستم با شرایط ممکن مدل مقید محدود می‌گردد (حد بالای آن بوسیله شرایط ممکن حاصل می‌شود).

شرایط ممکن مدل مقید UL در لم زیر بیان گردیده است [11]:

لم ۱. مدل مقید (۲) دارای جواب‌های ممکن است اگر و فقط اگر نامساوی زیر برقرار باشد:

$$g_{\Sigma}^u \leq \min_i \left\{ 1 - \frac{g_i^u I^u}{h_i P_{i\max}^u} \right\} \quad (۴-۱)$$

که در آن $I^u = \frac{I_0}{\theta^u}$ تداخل معادل زمینه در UL^۱ است. مقیاس توان در UL^۲ به صورت

$$g_i^u = \frac{1}{\frac{W}{r_i \gamma_i \theta^u} + 1}, \quad (i=1,2,\dots,N)$$

تعریف می‌شود و $g_{\Sigma}^u = \sum_{i=1}^N g_i^u$. مقیاس توان g_i^u را در واقع می‌توان به صورت نسبتی (سهمی) از منابع رادیویی که کاربر i ام از مجموع منابع شبکه اشغال نموده وقتی که این مجموع منابع شبکه یک واحد است در نظر گرفت.

اثبات. [11] فرض می‌کنیم که $(\mathbf{P}^u, \mathbf{R})$ شرایط مورد نظر یعنی $SIR_i^u \geq \gamma_i$, $r_i \leq R_i$, $0 \leq P_i^u \leq P_{i\max}^u$, $(i=1,2,\dots,N)$ را ارضا نماید. با استفاده از (۱) داریم

$$\begin{aligned} h_i P_i^u &\geq \frac{1}{1 + \frac{W}{R_i \gamma_i \theta^u}} \left(\sum_{j=1}^N h_j P_j^u + I^u \right) \\ &\geq g_i^u \left(\sum_{j=1}^N h_j P_j^u + I^u \right), \quad (i=1,2,\dots,N) \end{aligned} \quad (۵)$$

با جمع نمودن این نامساوی‌ها بدست می‌آوریم

$$\sum_{j=1}^N h_j P_j^u \geq \frac{g_i^u I^u}{1 - g_{\Sigma}^u}, \quad (i=1,2,\dots,N)$$

با قرار دادن این نامساوی در (۵) داریم

$$P_i^u \geq \frac{g_i^u I^u}{h_i (1 - g_{\Sigma}^u)}, \quad (i=1,2,\dots,N)$$

در نهایت و با در نظر گرفتن $P_i^u \leq P_{i\max}^u$ بدست می‌آید

$$g_{\Sigma}^u \leq 1 - \frac{g_i^u I^u}{h_i P_{i\max}^u}, \quad (i=1,2,\dots,N)$$

که همان شرط بیان شده با (۴-۱) است.

پس نه همیشه، وقتی که (۴) برقرار باشد، جواب بهینه به صورت

$$\begin{aligned} P_i^{u*} &= \frac{g_i^u I^u}{h_i (1 - g_{\Sigma}^u)} \\ R_i^* &= r_i, \quad (i=1,2,\dots,N) \end{aligned} \quad (۶)$$

¹ Equivalent uplink background interference

² Uplink power index

است که می‌توان مشاهده نمود در قیدهای مورد نظر صدق می‌کنند. ■
اگر توان $P_{i\max}''$ به بینهایت میل کند، که این به معنی برداشته شدن قید روی توان ارسالی کاربران است، شرایط ممکن (۴-۱) به شرط

$$g_{\Sigma}'' < 1 \quad (7)$$

ساده می‌گردد.

در اثبات لم ۱ اگر شرط (۴-۱) برآورده باشد، در واقع جواب (۶) حل بهینه مساله مینیمم سازی (۳) می‌باشد. در لم زیر اثبات این موضوع را شرح می‌دهیم.
لم ۲. اگر مساله مینیمم سازی (۳)، در مسیر فراسوی سیستم multimedia DS-CDMA با کنترل توان، دارای جواب ممکن باشد حل بهینه مساله (۶) است.
اثبات. برای هر بردار \mathbf{P}'' و \mathbf{R} و با جایگذاری به کمک رابطه (۱) خواهیم داشت:

$$P_i'' = \frac{G_i'' I''}{h_i(1 - G_{\Sigma}'')}, \quad (i=1,2,\dots,N)$$

که در $G_{\Sigma}'' = \sum_{i=1}^N G_i''$ و $G_i'' = \frac{1}{1 + \frac{W}{R_i SIR_i \theta''}}$, $(i=1,2,\dots,N)$ چون \mathbf{P}'' و \mathbf{R} جواب ممکن

مساله (۲) هستند پس باید در آن نامعادلات صدق نمایند. بنابراین باید،

داشته باشیم $g_i'' \leq G_i''$ و $g_{\Sigma}'' \leq G_{\Sigma}''$ ، و در نتیجه داریم

$$P_i'' \geq \frac{g_i'' I''}{h_i(1 - g_{\Sigma}'')} = P_i^{*}, \quad (i=1,2,\dots,N)$$

■ که این به معنی بهینه بودن حل (۶)، \mathbf{P}^{*} و \mathbf{R}^{*} ، برای (۳) است.
در بخش بعد با در نظر گرفتن محدودیت‌های دیگر به مساله (۳) به بررسی مساله می‌پردازیم.^۱

۴. بررسی مدل سیستم با اعمال قیدهای جدید

خواسته QoS مورد نظر کاربر $i(i=1,2,\dots,N)$ ، شامل حداقل سرعت ارسال قابل قبول r_i ، و حداقل SIR مورد نظر γ_i ، را مانند بخش قبل، در نظر می‌گیریم. بهره کانال کاربر i ام h_i و نویز زمینه دریافتی در محل BS I_0 است. در اینجا در دو قسمت قیدهای جدیدی را به سیستم تحمیل می‌نماییم و به بررسی وضعیت سیستم جدید در هر مورد می‌پردازیم.

الف. اعمال قید روی حداکثر SIR مجاز کاربران

فرض می‌کنیم علاوه بر قید بخش ۳ روی حداقل SIR مورد نظر هر کاربر، برای حداکثر آن نیز در شبکه قیدی مطرح گردیده است.^۲ در همین راستا، برای حداقل توان ارسالی در UL هم قیدی

^۱ مباحث بخش سوم، مطالب بخش دوم مقاله [11] می‌باشد.

^۲ ایده این قید را آقای دکتر سیف مطرح نمودند.

اعمال می‌نماییم. با قیدهای تازه، برای برآورده شدن خواسته کاربران، باید نامساوی‌های زیر همزمان برقرار باشند:

$$\begin{cases} \gamma_i^{\min} \leq SIR_i^u \leq \gamma_i^{\max}, \\ r_i \leq R_i, \\ P_{i\min}^u \leq P_i^u \leq P_{i\max}^u, \quad (i=1,2,\dots,N) \end{cases} \quad (8)$$

در نتیجه برای مینیمم نمودن مجموع توان ارسالی کاربران در سیستم با مساله بهینه‌سازی زیر مواجه می‌شویم:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{P}^u, \mathbf{R}} \quad & \sum_{i=1}^N P_i^u \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \gamma_i^{\min} \leq SIR_i^u \leq \gamma_i^{\max}, \\ r_i \leq R_i, \\ P_{i\min}^u \leq P_i^u \leq P_{i\max}^u, \quad (i=1,2,\dots,N) \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

می‌خواهیم داشتن جواب ممکن برای مدل مقید (۹) را بررسی نماییم.

مشابه روش مقاله [11]، پارامترهای زیر را معرفی می‌نماییم

$$g_i^{u,\max} = \frac{1}{\frac{W}{r_i \gamma_i^{\min} \theta^u} + 1}, \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (10)$$

این همان (۴) با در نظر گرفتن فرمول‌بندی جدید مساله است. پس در مورد مقیاس توان ماکزیمم در فراسو، $g_i^{u,\max}$ ، با توجه با (۴-۱) و لم ۱، باید داشته باشیم

$$g_{\Sigma}^{u,\max} \leq \min_i \left\{ 1 - \frac{g_i^{u,\min} I^u}{h_i P_{i\max}^u} \right\} \quad (4-2)$$

و نیز $g_{\Sigma}^{u,\max} = \sum_{i=1}^N g_i^{u,\max}$. به نحو مشابه مقیاس توان مینیمم در فراسو، $g_i^{u,\min}$ ، را تعریف می-

$$g_i^{u,\min} = \frac{1}{\frac{W}{r_i \gamma_i^{\max} \theta^u} + 1}, \quad (i=1,2,\dots,N) \quad \text{نماییم}$$

پس برای $g_i^{u,\min}$ نیز باید داشته باشیم

$$\max_i \left\{ 1 - \frac{g_i^{u,\min} I^u}{h_i P_{i\min}^u} \right\} \leq g_{\Sigma}^{u,\min} \quad (11)$$

که در آن $g_{\Sigma}^{u,\min} = \sum_{i=1}^N g_i^{u,\min}$. مقادیر $g_{\Sigma}^{u,\max}$ و $g_{\Sigma}^{u,\min}$ را می‌توان مقدار منابع قابل تخصیص شبکه در فراسو دانست^۱. پس اگر مساله تخصیص بهینه منابع سیستم CDMA را در لحظات متوالی در نظر بگیریم با مقایسه این مقادیر می‌توانیم به تقریب مناسبی از منابع قابل تخصیص شبکه در طول مدت زمان مشاهده رفتار شبکه دست یابیم. در بخش ۶، و به کمک شبیه‌سازی

^۱ این استنتاج خود من است و بر مبنای آن در بخش ۵ و ۶ نتایجی ارایه می‌گردد.

بخش ۵، نمودارهایی برای تغییرات مقادیر $g_{\Sigma}^{u,\max}$ و $g_{\Sigma}^{u,\min}$ در یک شبکه در لحظات متوالی آمده است که لزوم در نظر گرفتن قید(های) دیگر برای متعادل و مقاوم نمودن ظرفیت شبکه نسبت به تغییرات در پارامترهای مستقل، و خارج از کنترل ما در شبکه، را نشان می‌دهد. با توجه به رابطه (۱۱) و برای بررسی رفتار حدی آن، اگر کمترین مقدار توان مجاز، $P_{i\min}^u$ ، را به سمت صفر میل دهیم مقدار $g_{\Sigma}^{u,\min}$ به سمت صفر میل می‌نماید. به نظر (۲-۴) و (۱۱) تناقضی با یکدیگر نداشته و حل بهینه ما باید، همزمان، در هر دو این روابط صدق کند^۱. پس برای یافتن شهودی از ظرفیت این مقادیر را به عنوان کران^۲ برای ظرفیت قابل حصول سیستم در هر لحظه مطرح می‌نماییم. در زیر بخش بعدی، به کمک در نظر گرفتن وضعیت شبکه در لحظات متوالی و نیز اعمال محدودیتی دیگر در مجموعه قیده‌های (۸)، به ارایه روشی برای بهبود کیفیت قابل حصول از سیستم می‌پردازیم.

ب. اعمال قید روی تغییرات SIR مجاز کاربران

برای اینکه تغییرات مقدار ظرفیت سیستم در لحظات زمانی متوالی از مقدار مشخص، و از پیش تعیین شده‌ای، بیشتر نباشد قید زیر که به نظر برای این منظور مناسب است را به مدل مقید سیستم در زیر بخش قبل، (۸)، اضافه می‌نماییم: چون می‌خواهیم تغییرات ظرفیت سیستم بین دو نگاه زمانی متوالی به آن از مقداری کمتر باشد منطقی است که فرض نماییم تغییرات زمانی متغیر مورد نظر نسبت به زمان در حدود مورد نظر تغییر نماید؛ به عبارت دیگر و با بیان (نگاه) ریاضی، مشتق SIR_i^u نسبت به زمان در محدوده معینی باشد. به عبارت دیگر مثلاً داشته باشیم:

$$\left| \frac{\partial SIR_i^u}{\partial t} \right| \leq \varepsilon \quad (12-1)$$

با توجه به اینکه تابع مورد نظر را به صورت گسسته و با فواصل زمانی معین بررسی می‌نماییم، بهتر است رابطه (۱۲-۱) را به صورت گسسته، و در واقع در بازه زمانی بین دو تخصیص منبع متوالی Δt ، به صورت

$$\left| \frac{SIR_{i,t+\Delta t}^u - SIR_{i,t}^u}{\Delta t} \right| \leq \varepsilon \quad (12-2)$$

در نظر بگیریم.

با توجه به فرض مطرح شده در (۸)، یعنی محدود بودن مقدار SIR_i^u کاربر i ام بر حسب نوع سرویس مورد نظر بین دو مقدار $\gamma_i^{\min} \leq SIR_i^u \leq \gamma_i^{\max}$ می‌توان برای (۱۲-۲) کران مناسب‌تری بدست آورد. برای این منظور، و با توجه به حدود ذکر شده، خواهیم داشت

^۱ در واقع این ادعا به نظرم صادق است ولی صحت آن باید مورد بررسی قرار گیرد.

^۲ Bound

$$\left| \frac{SIR_{i,t+\Delta t}^u - SIR_{i,t}^u}{\Delta t} \right| \leq \left| \frac{\gamma_i^{\max} - \gamma_i^{\min}}{\Delta t} \right| \leq \varepsilon$$

$$\gamma_i^{\max} - \gamma_i^{\min} \leq \Delta t \cdot \varepsilon \quad (13)$$

رابطه (۱۳) بیان می‌کند که برای کاهش تغییرات نوعی SIR کاربران، در دو نگاه زمانی متوالی به سیستم، باید یکی از موارد زیر را انجام دهیم:

۱. فاصله دو مقدار مینیمم و ماکزیمم SIR قابل قبول هر کاربرد را به هم نزدیک نماییم.

چون مینیمم مقدار با توجه به سرعت ارسال و پارامترهای دیگر مطرح با هر کاربرد تعیین می‌شود، به نظر باید مقدار ماکزیمم قابل قبول SIR را تا حد ممکن به مقدار مینیمم نزدیک نماییم. برای نزدیک نمودن در عمل، و به دلیل پیچیدگی بیش‌تر دقت و عملیات مورد نیاز، محدودیت وجود دارد.

۲. انتخاب مقدار کوچکی برای مقدار ε .

۳. فاصله زمانی تخصیص (بهینه) منابع، Δt ، را در شبکه کوچک نماییم. این کار تا جایی که بار محاسباتی و پردازشی عملیات تخصیص منابع برای شبکه قابل تحمل باشد پذیرفتنی است.

در ادامه مقاله، با فرض $\varepsilon = \varepsilon_0$ ، $\Delta t = \Delta t_0 = 0.1 \text{ sec}$ ، و نیز $\gamma_i^{\max} = (1 + \eta)\gamma_i^{\min}$ خواهیم داشت:

$$\eta \leq \frac{\varepsilon_0 \Delta t_0}{\gamma_i^{\min}} \quad (14)$$

به نظر مقدار η باید به نحوی برگزیده شود که بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم کاربردهای مختلف کمترین بازه مشترک موجود باشد^۱. برای مثال با فرض $\Delta t_0 = 0.1 \text{ sec}$ و برای مقادیر مختلف η مقدار خطا در جدول ۱ آمده است.

۵. مدل و نتایج شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی عددی و بررسی بعضی از مباحث و استنتاج‌های مطرح شده در گزارش، شبیه‌سازی یک سلول CDMA با مشخصات زیر انجام پذیرفت. پیکربندی اصلی شبکه بر اساس نمونه مقاله [12] می‌باشد که در آن با روشی مشابه مقاله [11] به تعیین مقادیر $g_{\Sigma}^{u,\max}$ و $g_{\Sigma}^{u,\min}$ ، روابط (۴-۱) و (۱۰)، می‌پردازیم. پهنای باند سیستم $W = 3.84 \text{ Mbps}$ در نظر گرفته شده است.

شکل ۱ ترسیم مجدد شکل اول مقاله [11]، برای توضیح بخش ۳ و نیز تصحیح اشتباه آن، ترسیم می‌گردد. برای رسم این شکل از مقادیر [11] استفاده کرده‌ایم که در جداول ۲ و ۳ آمده است. در واقع در این مقاله برای سه دسته کاربرد نوعی، با فرض ثابت بودن مقادیر پارامترهای افت کانال و تداخل برای هر دسته، به محاسبه ظرفیت به مفهوم تعداد کاربران از هر کاربرد، که از طرف سیستم قابل پذیرش‌اند، پرداخته شده است.

^۱ این یک حدس شهودی است که باید بررسی گردد.

جدول ۱- مقایسه مقادیر خطا بر حسب مقدار نوعی η

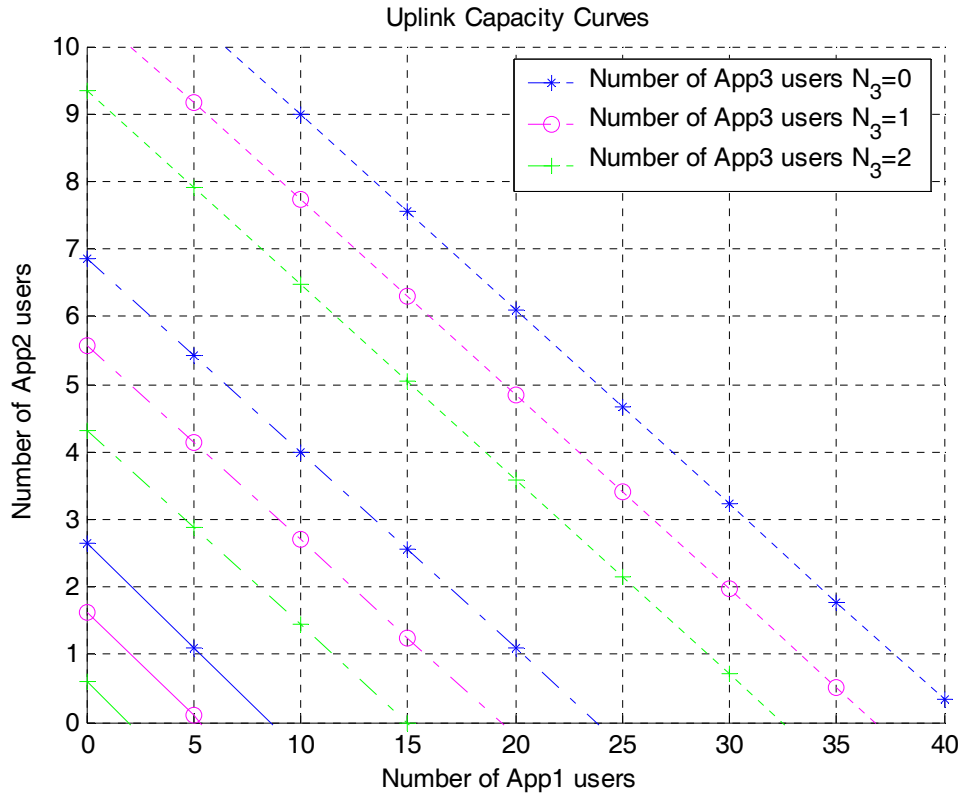
η	0.1	0.25	0.5	1
$\varepsilon(\eta, \gamma_i^{\min})$	γ_i^{\min}	$2.5\gamma_i^{\min}$	$5\gamma_i^{\min}$	$10\gamma_i^{\min}$
$\varepsilon(\eta, \gamma_i^{\min} = 6dB)$	3.981	9.95	19.90	39.81

جدول ۲- پارامترهای سیستم

مشخصه مورد نظر	مقدار، توضیحات
ساختار سلول بندی	یک سلول شش وجهی
شعاع سلول	1_{km}
مدل افت مسیر (افت انتشار) (مقدار نمای افت) بهره در فاصله ۱ متر (A)	$28.6 + 3.5 \log(r)_{dB}$ $\mu = 3.5$ $A = -28.6dB$
حداکثر توان ارسالی موبایل	0.2_{watt}
سرعت کاربر	$v = 30_{m/s} = 108_{km/hr}$
ضریب عمود بودن فراسو	$\theta^u = 1$
مقدار تداخل در محل BS	$I_0 = 2.5e - 6W$

جدول ۳- مشخصات کاربردها

پارامتر	کاربرد ۱	کاربرد ۲	کاربرد ۳
سرعت ارسال مورد نظر در QoS	24Kbps	56	144
SIR دریافتی مورد نظر در (dB) QoS	$\gamma_1^{\min} \leq \gamma_1 \leq \gamma_1^{\max}$, $\gamma_1^{\min} = 6dB$, $\gamma_1^{\max} = (1 + \eta)\gamma_1^{\min}$	$\gamma_2^{\min} \leq \gamma_2 \leq \gamma_2^{\max}$, $\gamma_2^{\min} = 8dB$, $\gamma_2^{\max} = (1 + \eta)\gamma_2^{\min}$	$\gamma_3^{\min} \leq \gamma_3 \leq \gamma_3^{\max}$, $\gamma_3^{\min} = 5dB$, $\gamma_3^{\max} = (1 + \eta)\gamma_3^{\min}$
محدودیت روی توان ارسالی $P_{i,max}^u$	$0.8P_{1,max}^u \leq P_1^u \leq P_{1,max}^u$, $P_{1,max}^u = 0.05W$	$0.8P_{2,max}^u \leq P_2^u \leq P_{2,max}^u$, $P_{2,max}^u = 0.1W$	$0.8P_{3,max}^u \leq P_3^u \leq P_{3,max}^u$, $P_{3,max}^u = 0.1W$
بهره کانال	$5e - 6$	$5e - 6$	$5e - 6$



شکل ۱- منحنی‌های ظرفیت Uplink بر اساس مقاله [11].

در این شکل منحنی‌های خط چین ریز بر اساس رابطه (۷) (نداشتن قیدی روی حداکثر توان ارسالی)، منحنی‌های خط نقطه بر اساس اعمال محدودیت روی حداکثر توان ارسالی و منحنی‌های پیوسته با توجه به قید مطرح شده توسط ما در بخش ۴-الف، رابطه (۱۱)، برای اعمال محدودیت روی حداقل توان ارسالی رسم گردیده‌اند.

در مورد شکل ۱، مشابه مقاله [11]، بهره کانال مقادیر ثابتی، که در جدول ۴ آمده‌اند، در نظر گرفته شده است. با استفاده از مدل حرکتی [۲۰] کاربران را در محیط سلول به صورت تصادفی ایجاد می‌نماییم و مکان حرکت این کاربران را در بازه‌ای شامل تعدادی شکاف زمانی^۱ مورد بررسی قرار می‌دهیم. از مختصات کاربران، مقدار تضعیف کانال محاسبه می‌گردد. برای شبیه‌سازی مدل احتمالاتی متناظر با حرکت کاربران فرض می‌کنیم کاربر در گام بعدی حرکتش با احتمال 0.6 در جهت قبلی به حرکت خود ادامه می‌دهد، با احتمال 0.15 به سمت راست جهت حرکت گام قبلی می‌پیچد، با احتمال 0.15 به سمت چپ می‌پیچد، با احتمال 0.05 در جای خود ثابت می‌ماند و با احتمال 0.05 به عقب تغییر مسیر می‌دهد [۲۰]. تعداد کاربران در این شبیه‌سازی‌ها ۱۰ در نظر گرفته شده که نصف کاربران از دسته کاربرد یک و پنج کاربر از کاربرد دو می‌باشند.

¹ Snap-Shot

در این مقاله از یک نوع کاربر، یک سرعت برای کاربران، استفاده شده است که در ادامه امکان افزایش به دسته‌های متفاوت برای سرعت کاربران مانند [21] وجود دارد. فرض دیگر مقاله، همه جهت ۱ بودن آنتن‌ها و همچنین نداشتن افت در تجهیزات آنتن گیرنده و فرستنده است.

برای بررسی ظرفیت شبکه در شکاف‌های زمانی متوالی، در هر نگاه به کاربران سیستم، سعی می‌شود، بر اساس روابط (۲-۴) و (۱۱)، تخصیص بهینه منابع صورت پذیرد. در واقع در هر شکاف زمانی باید مساله بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گیرد و در صورت وجود جواب ممکن برای آن جواب بهینه محاسبه گردد. شکل ۲ نمایشی از کران‌های ظرفیت را برای تعداد ۱۰ کاربر، $\Delta t_0 = 0.1 \text{ sec}$ و η های مختلف نشان می‌دهد. شکل ۳ همین بررسی را وقتی $\Delta t_0 = 0.01 \text{ sec}$ است نشان می‌دهد. شکل‌ها تاثیر تغییر در میزان η و طول شکاف زمانی را نشان می‌دهند.

همین بررسی وقتی مدل احتمالی حرکتی کاربران به 0.8 حرکت در امتداد قبلی حرکت، 0.08 حرکت به سمت چپ و راست و 0.02 حرکت به عقب و توقف در مکان فعلی تغییر یافت نیز انجام گرفت. شکل‌های ۴ و ۵ نتایج شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت یافتن مسیر اصلی حرکت در این حالت، انتظار داریم تغییرات افت مسیر کاربران در مقایسه با حالت قبلی بیشتر باشد و در نتیجه شاهد تغییرات بیشتری در میزان ظرفیت قابل تخصیص شبکه باشیم.

شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ نتیجه متوسط‌گیری برای ۱۰۰ بار شبیه‌سازی برای ۱۰ کاربر را با دو مدل حرکتی نشان می‌دهد. همان طور که از شکل‌ها نیز مشخص است، با کاهش مدت زمان شکاف زمانی، افزایش تعداد عملیات تخصیص بهینه منابع، تغییرات آرام‌تری در مقدار ظرفیت قابل تخصیص سیستم صورت می‌پذیرد؛ درحالی‌که بار پردازشی شبکه را افزایش داده‌ایم. به همین دلیل توجه به رابطه (۱۴)، نیز کنترل توان و دقت انجام آن، به همراه سطح موردنظر از کارایی و قابلیت اطمینان^۲ سیستم از مواردی هستند که باید به صورت همزمان در طراحی شبکه مد نظر قرار گیرند.

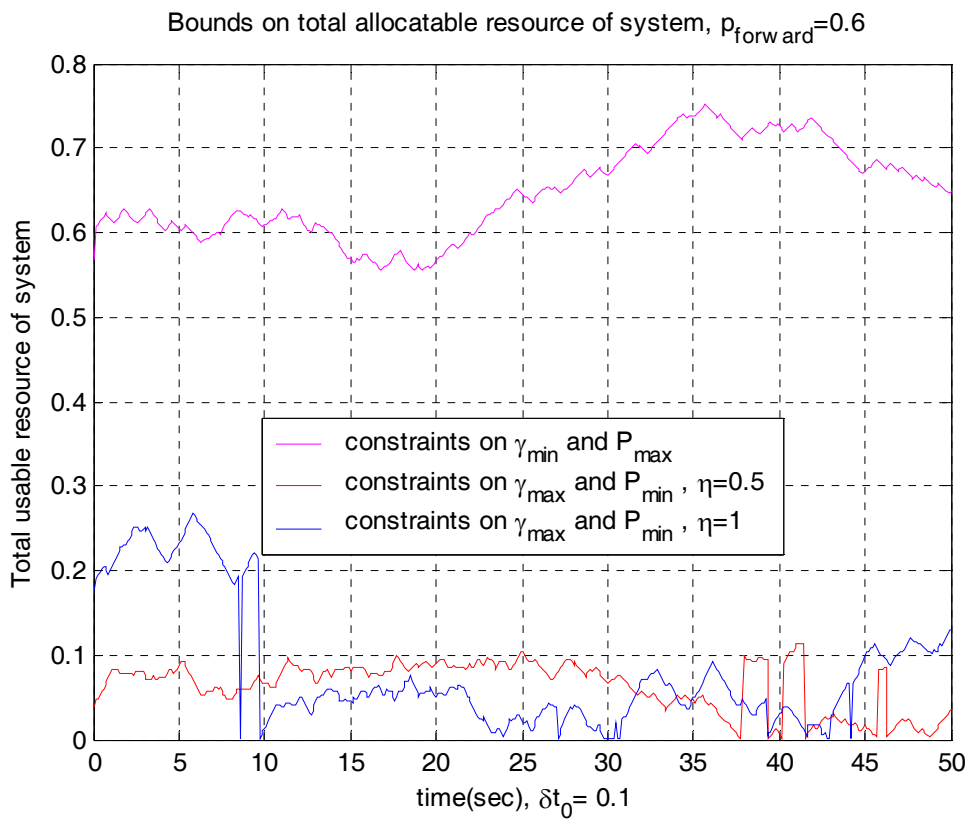
تاثیر پارامتر η در میزان تغییرات ظرفیت قابل تخصیص در سیستم نیز باید در نظر گرفته شود. با توجه به نمودارها و (۱۴)، کاهش مقدار η باعث کمتر شدن میزان تغییرات کران پایینی ظرفیت قابل تخصیص در شبکه و میل نمودن آن به سمت مقداری که در حالت نبودن قیدی روی حداکثر کاربران انتظار داریم، یعنی صفر، می‌گردد. البته این مستلزم دقت کنترل توان بالاتر و عملیات کنترلی بیشتری توسط سیستم است، که موید اهمیت مطالعه توام حرکت کاربران، تخصیص بهینه منابع شبکه به کاربران، و کنترل توان و دقت آن در شبکه است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

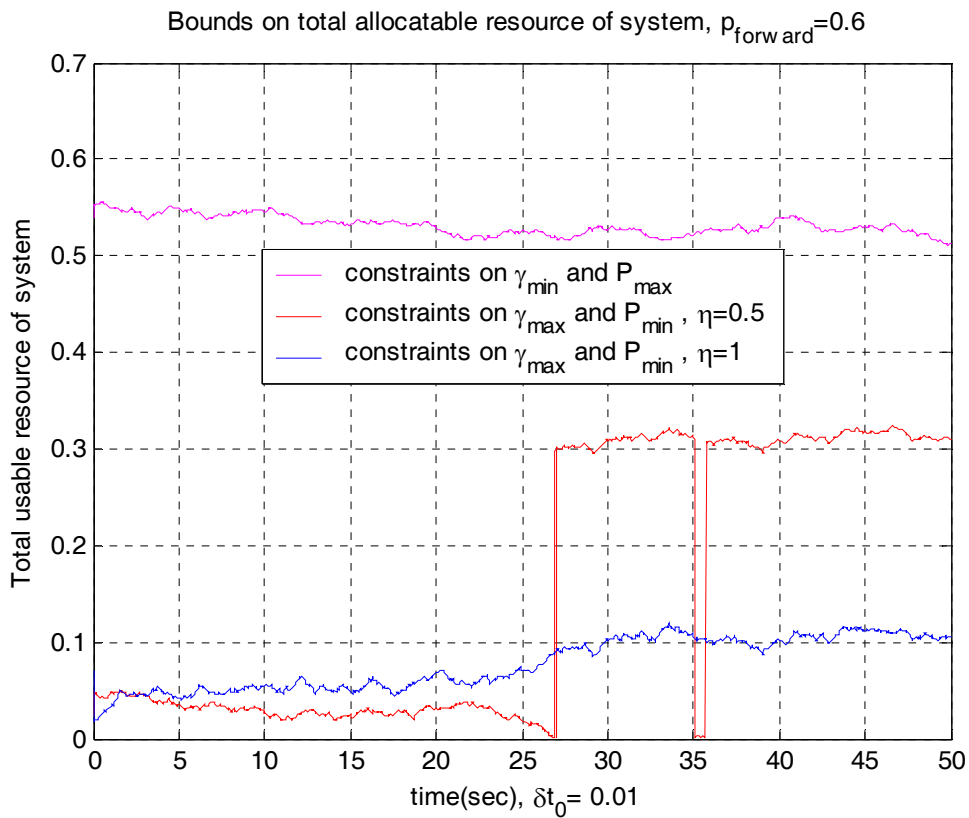
در این مقاله به کمک مدل‌سازی حرکت کاربران در شبکه CDMA، روشی برای تعیین تقریبی مقدار منابع قابل تخصیص، هنگامی که تخصیص منابع به صورت بهینه صورت می‌پذیرد ارائه

¹ Omni-directional

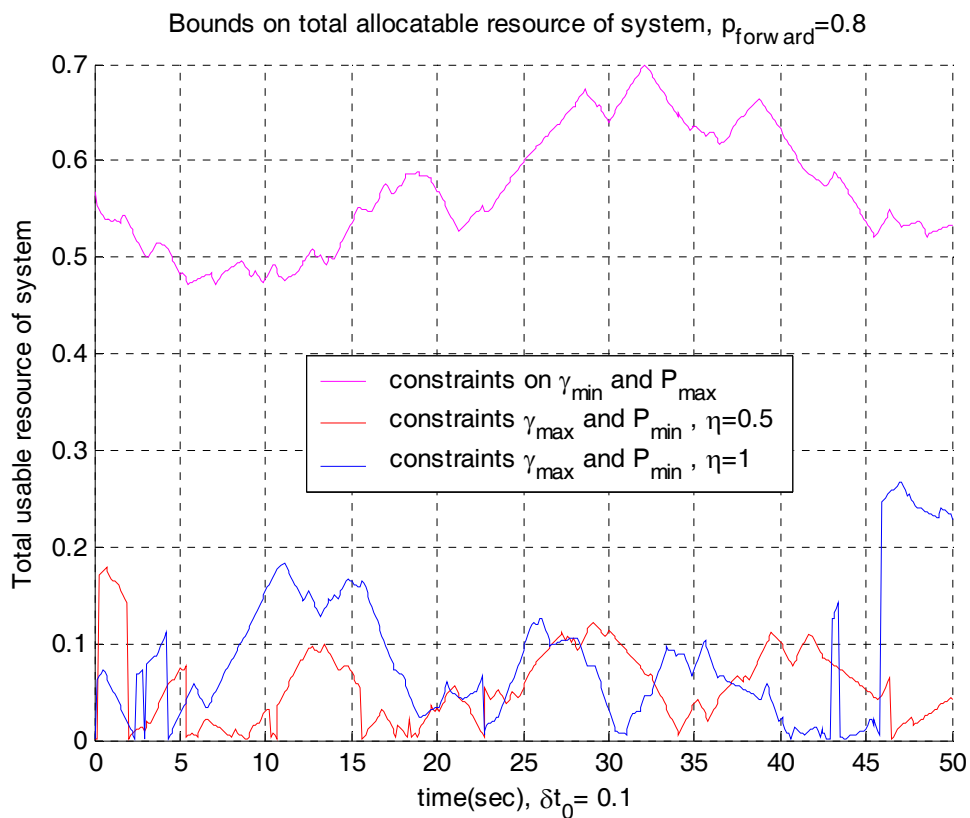
² Reliability



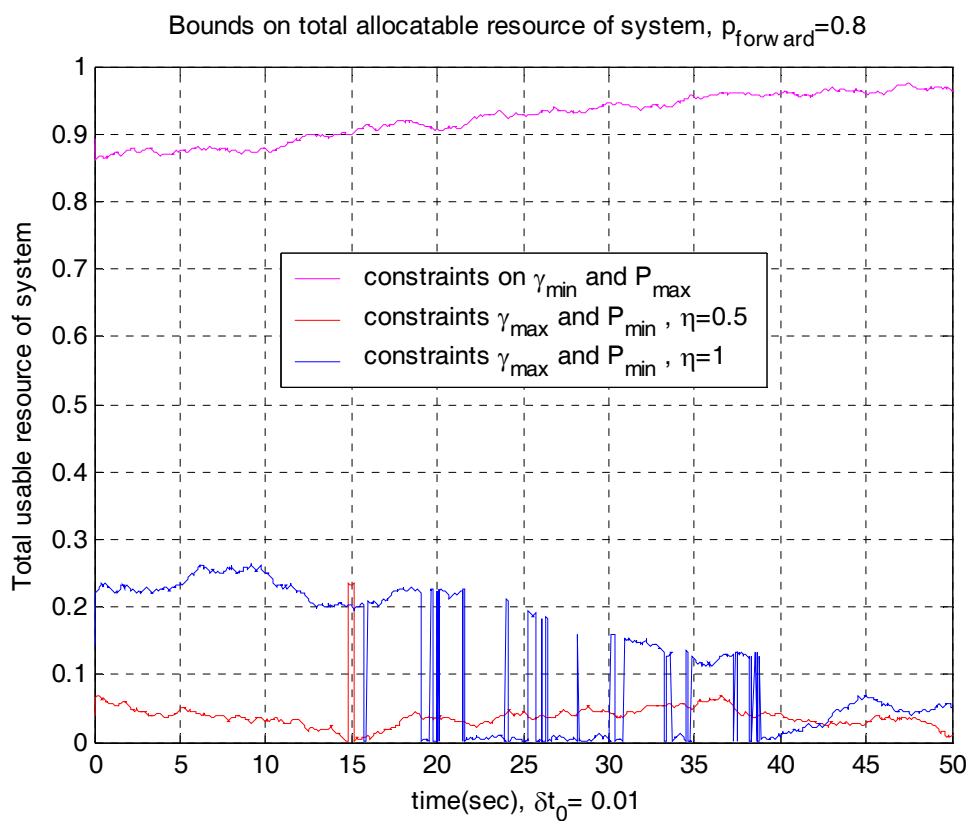
شکل ۲- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.1 \text{ sec}$.



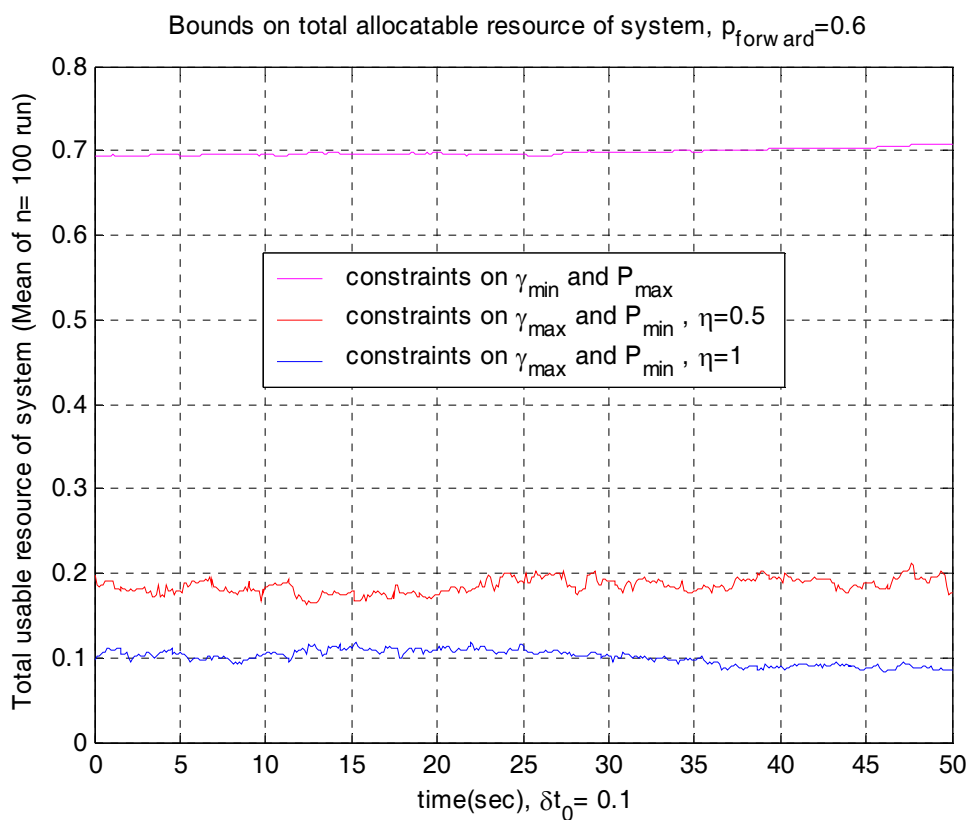
شکل ۳- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.01 \text{ sec}$.



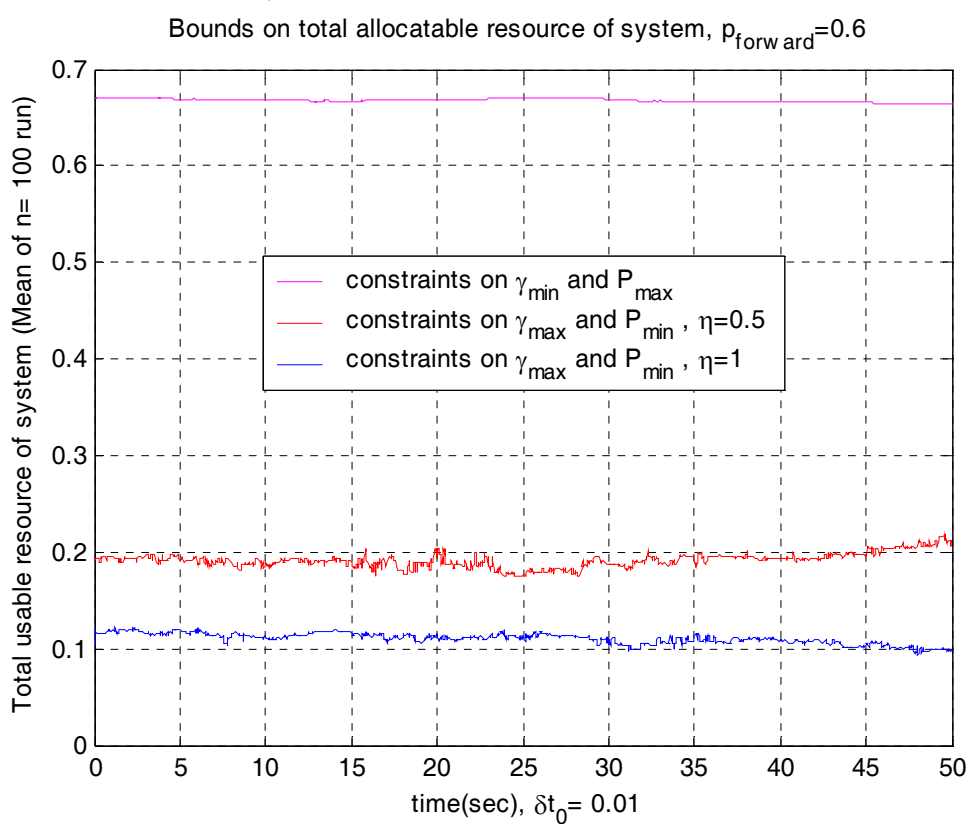
شکل ۴- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.1 \text{ sec}$



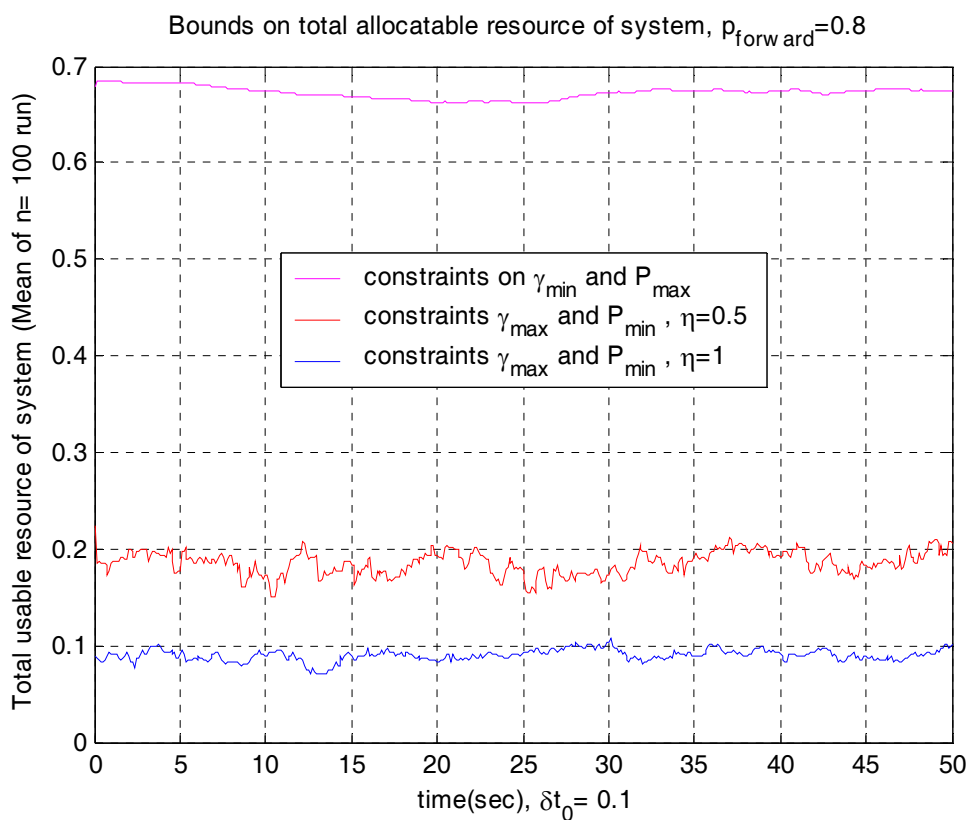
شکل ۵- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.01 \text{ sec}$



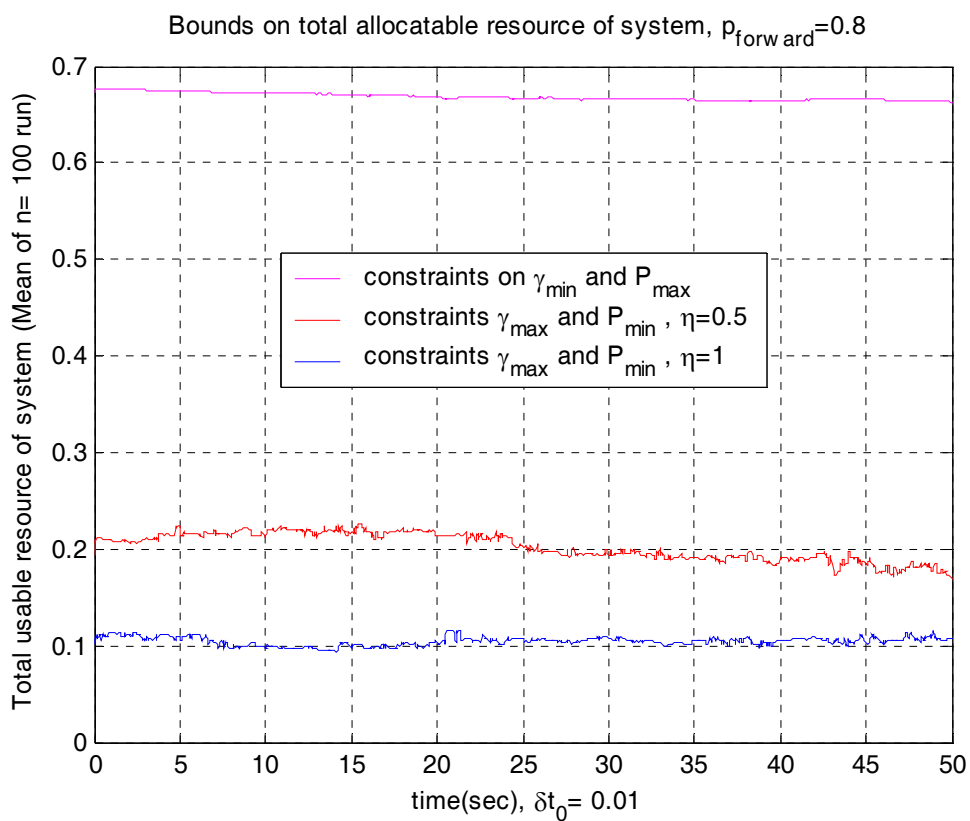
شکل ۶- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.1 \text{ sec}$



شکل ۷- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.01 \text{ sec}$



شکل ۸- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.1 \text{ sec}$



شکل ۹- منحنی ظرفیت قابل تخصیص برای $\Delta t_0 = 0.01 \text{ sec}$

گردیده است. نتایج صحت ادعای موثر بودن حرکت کاربران در میزان ظرفیت شبکه و اهمیت در نظر گرفتن این مورد برای تحلیل ظرفیت شبکه، مباحث مدیریت و طراحی شبکه را نشان می‌دهد. به عنوان پیشنهاد برای ادامه این پژوهش می‌توان موارد زیر را مورد بررسی قرار داد. از مدل‌های حرکتی بهتر (مطرح شده در مقالات مرتبط با مدیریت حرکت^۱) بهره جست. نیز در شبیه‌سازی سیستم CDMA جزئیات بیشتری مانند اثر افت سایه‌ای، انواع کاربران با سرعت‌های متفاوت، مانند نمونه متداول 1xEV-DV [21]، را برای شبیه‌سازی در نظر گرفت. همچنین استفاده از آشکارسازی چندکاربره به جای گیرنده‌های معمولی می‌تواند زمینه پژوهشی دیگری باشد. مدل حرکتی ارایه شده و شرایط پیشنهادی برای بهبود تخصیص منابع، قابلیت استفاده برای پژوهش در زمینه شبکه‌های Ad Hoc را نیز دارد. برای مثال مباحثی مانند مسیریابی، برای تعداد گره‌های و تعداد پرش^۲ برای برقرار بودن ارتباط^۳ بین گره‌های شبکه، و ظرفیت قابل دسترس با شبکه را می‌توان به کمک این مدل بررسی نمود.

۷. مراجع

- [1] H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley, New York, 2001.
- [2] J. S. Lee and L. E. Miller, *CDMA systems engineering handbook*, Artech House, Boston, MA, 1998.
- [3] M. Shabany, K. Navaie and E. S. Sousa, "Downlink Resource Allocation for Data Traffic in Heterogenous Cellular CDMA Networks," *Ninth International Symposium on Computers and Communications*, Proceedings ISCC 2004, Volume 1, 28 June-1 July 2004, pp. 436 – 441.
- [4] Xu Liang, Shen Xuemin and J. W. Mark, "Fair Resource Allocation with Guaranteed Statistical QoS for Multimedia Traffic in Wideband CDMA Cellular Network," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Volume 4, Issue 2, March-April 2005, pp. 166 – 177.
- [5] P. Marbach and R. Berry, "Downlink Resource Allocation and Pricing for Wireless Networks," *INFOCOM 2002*, Volume 3, 23-27 June 2002, pp. 1470 – 1479.
- [6] Duan Xiang, Niu Zhisheng and Zheng Junli, "Downlink Optimization of Radio Resource Allocation in DS-CDMA Networks: An Economic Approach," *14th IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, PIMRC2003, Volume 1, 7-10 Sept. 2003, pp. 643 – 647.
- [7] J. Price and T. Javidi, "Decentralized and Fair Rate Control in a Multi-Sector CDMA System," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, WCNC. 2004, Volume 4, 21-25 March 2004, pp. 2189 – 2194.
- [8] L. Badia, M. Lindstrom, J. Zander and M. Zorzi, "Demand and Pricing Effects on the Radio Resource Allocation of Multimedia Communication Systems," *IEEE Global Telecommunications Conference*, GLOBECOM2003, Volume 7, 1-5 Dec. 2003, pp. 4116 – 4121.

¹ Mobility Management

² Hop

³ Connectivity

- [9] R. Knopp and P.A. Humblet, "Information Capacity and Power Control in Single-Cell Multiuser Communications," *Proceedings IEEE International Conference on Communications (ICC'95)*, Seattle, WA, 1995, pp. 331-335.
- [10] O. Kaya and S. Ulukus, "Ergodic Sum Capacity Maximization for CDMA: Optimum Resource Allocation," *IEEE Transactions on Information Theory*, Volume 51, Issue 5, May 2005, pp. 1831 – 1836.
- [11] Duan Xiang, Niu Zhisheng and Zheng Junli, "Capacity Analysis of Uplink and Downlink in Multimedia DS-CDMA Systems Based on Constraint Models," *IEEE International Conference on Communications*, ICC 2003, Volume 1, 11-15 May 2003, pp. 402 – 406.
- [12] D. Zhang, Seong-Jun Oh and N. T. Sindhusayana, "Optimal Resource Allocation for Data Service in CDMA Reverse Link," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, WCNC. 2004, Volume 3, 21-25 March 2004, pp. 1601 – 1606.
- [13] Seong-Jun Oh, Danlu Zhang and K. M. Wasserman, "Optimal Resource Allocation in Multiservice CDMA Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Volume 2, Issue 4, Jul 2003, pp. 811 – 821.
- [14] A. Boariu, "A Resource Allocation Algorithm for Downlink CDMA System," *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, PIMRC 2004, Volume 3, 5-8 Sept. 2004, pp. 2223 – 2226.
- [15] A. Kwasinski and N. Farvardin, "Resource Allocation for CDMA Networks Based on Real-Time Source Rate Adaptation," *IEEE International Conference on Communications*, ICC2003, Volume 5, 11-15 May 2003, pp. 3307 – 3311.
- [16] V. Huang and Weihua Zhuang, "Resource Allocation In Multi-Cell CDMA Communication Systems," *IEEE International Conference on Communications*, ICC2003, Volume 3, 11-15 May 2003, pp. 1695 – 1699.
- [17] L. Jorgueski, E. Fledderus, J. Farserotu and R. Prasad, "Radio Resource Allocation in Third Generation Mobile Communication Systems," in *IEEE Communications Magazine*, Vol. 39, Issue 2, Feb. 2001, pp. 117 – 123.
- [18] S. Kundu and S. Chakrabarti, "Resource Allocation in DS-CDMA with Imperfect Power Control and Correlated Interference," *IEEE International Conference on Personal Wireless Communications*, 15-17 Dec. 2002, pp. 30 – 34.
- [18] S. Z. Ozer and S. Papavassiliou, "Performance Analysis of CDMA Systems with Integrated Services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 52, Issue 4, July 2003, pp. 823 – 836.
- [۲۰] حسام محمد حسینی، پیام امانی، رامین مهران و علیرضا فاتحی، "طراحی سلولی با استفاده از روش خوشه‌بندی FCM بر پایه مدل احتمالاتی حرکت کاربر سیار،" هفتمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند ایران CIS2005، پذیرفته شده.
- [21] Working Group 5 Evaluation Ad-Hoc Group, "1xEV-DV Evaluation Methodology – Addendum (V6)," Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2), Contribution C50-20010820-026, July 2001. Available at ftp://ftp.3gpp2.org/TSGC/Working/2001/TSG-C0108/TSG-C-0801-portland/WG5/C50-20010820-026_1xEV-DV-Evaluation-Methodology-Addendum-V6.doc.