بهینه سازی چند منظوره برای کنترل توان در سیستم‌های سلولار CDMA

مصطفی رضایی[1] حمید فرخی[2]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران
m_rezaie_2005@yahoo.com
۲- استادیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه بیرجند- بیرجند- ایران
hfarrokhi@birjand.ac.ir

چکیده: در این مقاله یک الگوریتم کنترل توان چند منظوره جدید ارائه شده است که در آن بروزرسانی توان تنها با استفاده از اطلاعات محلی انجام می‌گیرد. الگوریتم از تکنیک‌های بهینه‌سازی چند منظوره[1] بهره گرفته است. اهداف این تکنیک بگونه ای تعیین شده اند که نه تنها توان ارسالی را در حد مینیمم نگه می‌دارد، بلکه از یکسو مقدار SIR[2] کاربران را در حد قابل قبولی قرار داده و از سوی دیگر نوسانات SIR دریافتی را تا حد ممکن کاهش می‌دهد. مشخصات همگرایی روش پیشنهادی در دو حالت تئوری و شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که نه تنها میانگین توان ارسالی کاهش یافته بلکه در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های کنترل توان از سرعت همگرایی بالاتری برخوردار است. سپس با معرفی نسخه کاربردی الگوریتم آن را با دو روش B-BPC[3] (FSPC[4]) و MOTDPC[5] مقایسه نموده‌ایم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد سرعت همگرایی و میانگین مصرف توان نسبت به الگوریتم‌های عملی موجود ارتقاء یافته است.

کلمات کلیدی: کنترل توان توزیعی، بهینه‌سازی چند منظوره، سیستم‌های سلولار، CDMA، همگرایی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش مشروط: ۱۳۹۲/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۸/۲۰
نام نویسنده‌ی مسئول: مصطفی رضایی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – بیرجند – شوکت آباد –دانشگاه بیرجند – دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، گروه مخابرات

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۱- مقدمه

کنترل توان ارسالی از مکانیزم‌های ضروری در افزایش ظرفیت و کاهش تداخل سیستم‌های سلولار بحساب می‌آید. بخصوص بکارگیری آن منجر به کاهش اثر دور و نزدیک در سیستم‌های دسترسی چندگانه با تخصیص کد (CDMA[۶]) می‌شود. مطالعات برروی کنترل توان به سال ۱۹۷۰ برمی‌گردد. بطوریکه Aein در [۱]، مدیریت تداخل کانال های یکسان و مسئلهٔ توازن SIR[۷] در سیستم‌های ماهواره‌ای را مورد بررسی قرار داد. در [۲] و [۳] با بسط نتایج [۱] بر روی سیستم‌های رادیویی سلولار طیف گسترده نشان دادند که توازن SIR منجر به بهبود ظرفیت این سیستم ها می‌گردد.

الگوریتم توازن SIR برای سیستم‌های باند باریک در [۴] پیشنهاد گردید که در [۵] با فرض نویز دریافتی در گیرنده تعمیم داده شد. علاوه بر آن در [۶] نیز شرط محدودیت توان ارسالی مد نظر قرار گرفت، این الگوریتم از جمله الگوریتم‌های معروف در کنترل توان است که به آن الگوریتم کنترل توان توزیعی محدود (DCPC[۸]) گویند. Zander در [۷] الگوریتمی را برای حل ماکزیمم SIR دست یافتنی[۹] معرفی نمود که بروزرسانی توان‌ها به یک روش توزیعی صورت می گیرد. برای همان پیشنهاد در [۸] الگوریتم دیگری برای سیستم‌های ماهواره‌ای [۹] پیشنهاد گردید. Foschini و Milijanic در [۱۰] و همچنین در [۱۱] مسئله کنترل توان با حضور نویز دریافتی در گیرنده را بررسی و تلاش نمودند به جای دستیابی به QOS[۱۰] ای معادل با ماکزیمم SIR دست یافتنی به QOS ای دلخواه (معادل با SIR هدف[۱۱]) دسترسی پیدا نمایند. در [۱۲] نشان داده شد که نسخه آسنکرون [۱۰] با فرض کانال ایستان نیز به یک نقطه ثابت همگرا می‌شود. در [۱۳] یک روش بر مبنای تکنیک SOR[۱۲] بیان گردید که سرعت همگرایی بسیار بالایی نسبت به الگوریتم DCPC دارد. Uykan و Koivo در [۱۴] الگوریتم کاملا توزیعی درجه اولی پیشنهاد کردند که برخلاف الگوریتم‌های خطی، طبیعتی غیرخطی دارد ولی سرعت همگرایی آن در رسیدن به بردار توان بهینه دو برابر سرعت همگرایی الگوریتم DCPC است. در [۱۵] نیز فرمولاسیونی مشابه [۱۴] ارائه شد که پلی بین تغییرات گین لینک و پارامترها از الگوریتم پیشنهاد شده ایجاد نمود. برای آنالیز کنترل توان ارسالی در [۱۶] نیز از روش توزیعی و سریع بر مبنای کنترلرهای خطی PI استفاده گردید.

در [۱۷] از تئوری کنترل سیستم‌ها با ساختارهای متغیر[۱۳] برای حل مسئله کنترل توان در سیستم‌های موبایل استفاده شد که هدف، ساخت کنترلری غیر حساس نسبت به تغییرات ناشناخته گین لینک[۱۴] بود. نتایج در [۱۷] نشان داد که الگوریتم نسبت به الگوریتم DCPC بسیار مقاوم و سریع می باشد. در [۱۸] الگوریتم کنترل توان آماری[۱۵] توزیع یافته با فرض نویزی بودن SIR اندازه‌گیری شده مطرح شد که مجموع واریانس توان ارسالی موبایل‌ها و خطای سیگنال به تداخل را مینیمم می‌کند. در [۱۹] و [۲۰] با بهره‌گیری از نتایج تئوری کنترل مدرن یک الگوریتم کنترل توان درجه دوم خطی (LQPC[۱۶]) براساس روش فضای حالت پیشنهاد گردید. در [۲۱] یک الگوریتم کنترل توان توزیعی ارائه شد که گین لینک بین هر فرستنده و گیرنده به صورت تابعی از فیدینگ رایلی تغییر می‌کند ولی تداخل برای هر فرستنده ثابت فرض شده است که فرضی غیر معقول برای کنترل توان ایجاب می‌نماید لذا در [۲۲] نشان داده شد که با فرض تغییر پذیری تداخل نیز روش پیشنهادی بخوبی تغییرات ناچیز کانال را تخمین زده و الگوریتم هر کاربری را حتی در شرایط تغییرپذیری کانال به SIR مطلوبش می رساند. در [۲۴] تا [۲۶] یک روش بهینه‌سازی چند منظوره مطرح شده است که چندین هدف را به طور همزمان بهینه می‌نماید. از طرف دیگر الگوریتم ارائه شده دارای سرعت همگرایی بالا و احتمال خروج پایینی نسبت به بسیاری از الگوریتم‌های معروف در این زمینه می‌باشد. در روش‌های بهینه‌سازی چند منظوره برخلاف روش‌های بهینه‌سازی تک منظوره[۱۷] به جای بهینه‌سازی یک هدف، چند هدف به طور همزمان بهینه می‌گردند که ممکن است با یکدیگر متفاوت و احیانا متضاد باشند. از اینرو جواب‌های بهینه متفاوتی خواهیم داشت که با توجه به شرایط موجود تنها یک جواب بهینه انتخاب می‌شود.

ساختار مقاله در ادامه به صورت زیر می‌باشد: در بخش ۲ به توصیف اولیه روش‌های بهینه‌سازی چند منظوره و ویژگی‌های کاربردی آن و استفاده از روش‌های آنالتیکی در حل مسائل بهینه سازی پرداخته شده است که به دنبال آن الگوریتم پیشنهادی معرفی می‌شود، در بخش ۳ به مشخصات همگرایی آن و در بخش ۴ نسخه کاربردی آن مطرح می‌شود. در بخش ۵ نتایج شبیه‌سازی و مقایسه الگوریتم با دیگر الگوریتم‌های کنترل توان انجام گرفته است و در بخش ۶ نتیجه‌گیری این مقاله ارائه گردیده است.

۲- الگوریتم MOCIDPC[۱۸]

تکنیک بهنیه سازی چند منظوره روشی است که به بهینه‌سازی بین اهداف متفاوت و متناقض می‌پردازد. در مسئله بهینه‌سازی چند منظوره به جای بهینه سازی یک هدف اسکالر، یک بردار از توابع هدف بهینه می‌شوند که هر کدام تابعی از بردار تصمیم (متغیر تصمیم) می باشند[۲۷]. فرمولاسیون ریاضی از بهینه‌سازی چند منظوره به فرم زیر است

$$\begin{aligned} &\min \ \ f_1(\mathrm{x}),\ f_2(\mathrm{x}),\ \ldots\ ,f_m(\mathrm{x}) \\ &\text{subject to } \mathrm{x} \in \mathbf{S} \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن $m \geq 2$ ، $f_i : \Re^n \rightarrow \Re$ توابع هدف ، x بردار (متغیر) تصمیم $\mathrm{x} \in \mathbf{S}$ و $\mathbf{S}$ یک ناحیه (یا مجموعه) ممکن از جواب‌های

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

حل بهینه می‌باشد. مخفف $\min\{\bullet\}$ به معنای مینیمم سازی تمام اهداف بطور همزمان می‌باشد. از آنجا که اهداف حداقل به صورت جزئی ناسازگار هستند و امکان دارد با یکدیگر متناقض باشند بنابراین هیچ برداری نمی‌تواند به طور همزمان تمامی اهداف را مینیمم نماید. در بهینه‌سازی چند منظوره جواب‌های متفاوتی از نقطه نظرهای مختلف داریم که به آنها جواب‌های بهینه پرتو و به مجموعه ای از آنها، مجموعه پرتو گویند.

بعد از تولید این مجموعه، معمولاً سعی در انتخاب یکی از جواب های این مجموعه توسط سازنده مسئله[۱۹] یا تصمیم گیرنده می باشیم. تکنیک‌های متفاوتی برای حل مسئله بهینه‌سازی چند منظوره وجود دارد که از آن جمله می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک نام برد [۲۸]. در این مقاله از روش متریک‌های وزن‌دار شده[۲۰] [۲۷] بهره برده‌ایم که از روش‌های آنالتیکی در کاربردهای بهینه‌سازی چند منظوره در مدیریت منابع رادیویی است. در این روش اگر حل بهینه هر هدف از قبل شناخته شده باشد (به عنوان مثال SIR ماکزیمم ($\Gamma_i^{\sup}$)) مسئله بهینه‌سازی (۱) می‌تواند به فرم زیر تعریف گردد.

$$\min\left(\sum_{i=1}^{m}\lambda_i\left|f_i(x)-z_i^*\right|^{\mathrm{p}}\right)^{\frac{1}{\mathrm{p}}} \qquad (۲)$$
$$\text{subject to } \mathrm{x}\in\mathbf{S}$$

که $1\le \mathrm{p}\le\infty$، z_i^* حل مطلوب از هدف iام، ضرایب مصالحه $\lambda_i\ge 0$ برای تمامی iها و $\sum_{i=1}^{m}\lambda_i=1$ می‌باشد.

از آنجا که مقدار QOS ماکزیمم معمولاً ثابت نیست و دارای مقداری حاشیه نسبت به مینیمم QOS مورد نیاز می‌باشد. بنابراین هر QOS ای که در داخل این حاشیه واقع شود، سطح QOS قابل قبول می‌باشد. شکل (۱) این ایده را برای حالت دو کاربره نشان می‌دهد. خطوط پیوسته بیانگر مقادیر توانی است که SIR آنها معادل با مینیمم سطح مورد نیاز است در حالیکه خطوط ناپیوسته مقادیر توانی را نشان می‌دهد که به سطح SIRای معادل SIR ماکزیمم دست می‌یابند.

الگوریتم کنترل توانی که در ادامه ارائه می‌شود به سرعت به یک سطح QOS قابل قبول به ازای مصرف توان کم نسبت به الگوریتم‌های کنترل توان توزیعی موجود دست می‌یابد. در [۲۴] و [۲۵] دو هدف مینیمم کردن توان ارسالی و دستیابی به یک QOS ماکزیمم را مد نظر قرار دادند. اما در الگوریتمی که در ادامه ارائه می‌شود با انتخاب هدف دیگری که در [۲۳] پیشنهاد گردیده، سه هدف در بکارگیری بهینه‌سازی چند منظوره استفاده شده است که این اهداف به صورت زیر می‌باشند:

۱. مینیم کردن توان ارسالی تمام فرستنده‌ها.
۲. بدست آوردن QOS ماکزیمم ($\Gamma^{\sup}$) برای تمام فرستنده‌ها.
۳. کمتر کردن نوسانات SIR ([۲۳] را ببینید)

اهداف ذکر شده در بالا می‌توانند به صورت ریاضی برای کاربر iام توسط تابع خطای زیر بیان شوند:

$$e_i(t)=\lambda_{i,1}\left|p_i(t)-p_{i,min}\right|+\lambda_{i,2}\left|\Gamma_i(t)-\Gamma_i^{\sup}\right| +\lambda_{i,3}\left|\Gamma_i(t)-\Gamma_i(t-1)-\beta\Gamma_i^{\sup}\right| \qquad (۳)$$

که $\lambda_{i,1}+\lambda_{i,2}+\lambda_{i,3}=1$ ، $\lambda_{i,1},\ \lambda_{i,2},\ \lambda_{i,3}\ge 0$ ، $\beta>0$ ، $\Gamma_i^{\sup}$ مقدار SIR ماکزیمم و $p_{i,min}$ مینیمم توان ارسالی از کاربر iام می باشد. به طور کلی هر کاربری می‌تواند مقادیر متفاوتی از ضرایب مصالحه به همراه SIR ماکزیمم داشته باشد. $\Gamma_i(t)$ نیز مقدار SIR کاربر iام در شیار زمانی[۲۱] tام می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma_i(t)=\frac{g_{ii}(t)p_i(t)}{\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{Q}g_{ij}(t)p_j(t)+\nu_i(t)},\qquad i=1,2,\ldots,Q \qquad (۴)$$

که در آن $g_{ij}(t)$ گین کانال بین فرستنده iام و گیرنده jام، $p_i(t)$ و $\nu_i(t)$ به ترتیب توان ارسالی و نویز دریافتی از کاربر iام و Q نیز تعداد کاربران فعال در شیار زمانی tام هستند. بدون از دست دادن کلیات فرض شده است کاربر iام به ایستگاه پایه[۲۲] iام متصل شده است و دیتای ارسالی آن زمانی در گیرنده مورد قبول است که SIR دریافتی در گیرنده بزرگتر از مقدار SIR مینیمم ($\Gamma_{i,min}$) باشد در غیر این صورت آن کاربر از سیستم خارج می‌شود.

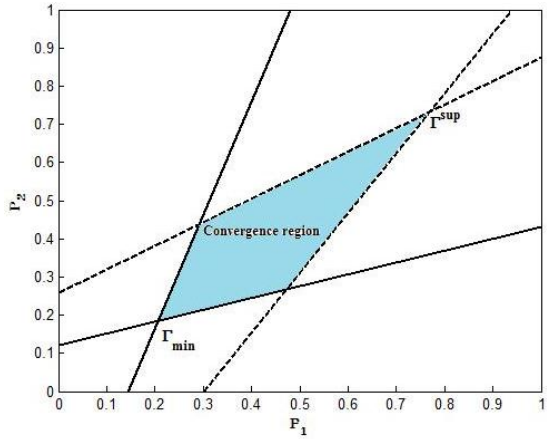
برای عمومیت دادن مسئله بهینه‌سازی روی همه کاربران برای $\boldsymbol{N}$ شیار زمانی، مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر تعریف می‌شود.

پیدا کردن مینیمم تابع هزینه

$$J(\mathbf{p}(\mathbf{t}))=\left[\sum_{i=1}^{Q}\sum_{t=1}^{N}\gamma^{N-t}e_i^2(t)\right],\qquad t=1,2,\ldots,\boldsymbol{N} \qquad (۵)$$

با توجه به بردار توان $\mathbf{p}$.

γ به عنوان فاکتور تطبیق و $\mathbf{p}=\begin{bmatrix}p_1 & p_2 & \cdots & p_Q\end{bmatrix}'$ می‌باشد.



شکل (۱): ناحیه همگرایی برای الگوریتم MOCIDPC

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

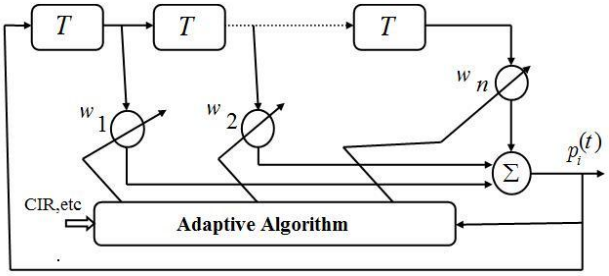
مسئله (۵) بدلیل تابع قدر مطلق در رابطه (۳) به عنوان مسئله بهینه سازی غیرخطی معروف است. مزیت استفاده از تابع هزینه (۵) بکارگیری آن در وظایف و اهداف متفاوت است. به عنوان مثال، کاهش توان ارسالی، بدست آوردن مقدار SIR ماکزیمم، کاهش نوسانات SIR، افزایش توان عملیاتی، کاهش تأخیر بسته و غیره را می‌توان از جمله این اهداف نام برد.

جمله اول رابطه (۳) نیاز به تابع قدر مطلق ندارد زیرا توان ارسالی نمی‌تواند کمتر از $p_{i,min}$ باشد و در این صورت تابع خطا بصورت زیر بهبود می‌یابد:

$$\begin{aligned} e_i(t) &= \lambda_{i,1}\left(p_i(t)-p_{i,min}\right)+\hat{\lambda}_{i,2}(t)\left(\Gamma_i(t)-\Gamma_i^{\sup}\right) \\ &+\hat{\lambda}_{i,3}(t)\left(\Gamma_i(t)-\Gamma_i(t\text{-}1)-\beta\Gamma_i^{\sup}\right) \\ &t=0,\ 1,\ 2,\ \dots\ ,\ i=1,\ 2,\ \dots,\ Q \end{aligned} \qquad (۶)$$

که در آن $\hat{\lambda}_{i,2}(t)=sign\left(\Gamma_i(t)-\Gamma_i^{\sup}\right)\lambda_{i,2}$ و $\hat{\lambda}_{i,3}(t)=sign\left(\left(\Gamma_i(t)-\Gamma_i(t\text{-}1)-\beta\Gamma_i^{\sup}\right)\lambda_{i,3}\right)$ می‌باشد.

فرض کنید $p_i(t)$ برحسب مدل خطی autoregressive همانند شکل (۲) بیان شده باشد [۲۹].



شکل (۲): مدل Autoregressive از کنترل توان

از اینرو توان ارسال شده به صورت زیر است:

$$p_i(t)=\sum_{k=1}^{n} w_i(k)p_i(t\text{-}k)=\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t) \quad t=0,1,2,\dots \qquad (۷)$$

که در آن

$$\begin{aligned} \mathrm{w}_i &= \left[w_i(1)\dots w_i(n)\right]' \ , \\ \mathrm{X}_i(t) &= \left[p_i(t\text{-}1)\dots p_i(t\text{-}n)\right]' \end{aligned} \qquad (۸)$$

$w_i(k)$ وزن تخصیصی به هر بردار توان و w' به معنای ترانهاده بردار w و $\mathrm{X}_i(t)$ از مقادیر توانهای ارسالی قبلی بدست می آید و n نیز تعداد تپ‌ها می باشد.

با تعریف تابع تداخلی نرمالیزه شده از کاربر iام همانند

$$I_i(t)=\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{Q}\frac{g_{ij}(t)p_j(t)}{g_{ii}(t)}+\frac{\nu_i(t)}{g_{ii}(t)} \qquad (۹)$$

و بکارگیری رابطه (۷) در رابطه (۶) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} e_i(t) &= \lambda_{i,1}\left(\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t)-p_{i,min}\right)+\hat{\lambda}_{i,2}(t)\left(\frac{g_{ii}(t)\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t)}{I_i(t)}-\Gamma_i^{\sup}\right) \\ &+\hat{\lambda}_{i,3}(t)\left(\frac{g_{ii}(t)\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t)}{I_i(t)}-\frac{g_{ii}(t)\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t\text{-}1)}{I_i(t)}-\beta\Gamma_i^{\sup}\right) \end{aligned} \qquad (۱۰)$$

با نشان دادن:

$$\begin{aligned} \alpha_{1t} &= \left[\lambda_{i,1}+\hat{\lambda}_{i,2}(t)\frac{g_{ii}(t)}{I_i(t)}+\hat{\lambda}_{i,3}(t)\frac{g_{ii}(t)}{I_i(t)}\right] \\ \alpha_{2t} &= -\hat{\lambda}_{i,3}(t)\frac{g_{ii}(t)}{I_i(t)} \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

لذا $e_i(t)$ در رابطه (۱۰) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} e_i(t) &= \alpha_{1t}\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t)+\alpha_{2t}\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t\text{-}1)-\lambda_{i,1}p_{i,min} \\ &-\hat{\lambda}_{i,2}(t)\Gamma_i^{\sup}-\hat{\lambda}_{i,3}(t)\beta\Gamma_i^{\sup} \end{aligned} \qquad (۱۲)$$

بنابراین مینیمم کردن تابع هزینه (۵) با توجه به p_i تبدیل به مینیمم کردن آن با توجه به بردار w می‌شود. شرط لازم برای مینیمم کردن تابع هزینه (۵) به ازای تمام iها به صورت زیر است:

$$2\sum_{t=1}^{N}\gamma^{N-t}e_i(t)\frac{\partial e_i(t)}{\partial \mathrm{w}}=0 \qquad (۱۳)$$

از رابطه (۱۲) داریم:

$$\frac{\partial e_i(t)}{\partial \mathrm{w}}=\alpha_{1t}\mathrm{X}_i'(t)+\alpha_{2t}\mathrm{X}_i'(t\text{-}1) \qquad (۱۴)$$

با جایگذاری روابط (۱۲) و (۱۴) در رابطه (۱۳) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} &\sum_{t=1}^{N}\gamma^{N-t}e_i(t)\frac{\partial e_i(t)}{\partial \mathrm{w}} \\ &=\sum_{t=1}^{N}\gamma^{N-t}\left(\alpha_{1t}\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t)+\alpha_{2t}\mathrm{w}_i'\mathrm{X}_i(t\text{-}1)-\lambda_{i,1}p_{i,min}\right. \\ &\left.-\hat{\lambda}_{i,2}(t)\Gamma_i^{\sup}-\hat{\lambda}_{i,3}(t)\beta\Gamma_i^{\sup}\right)\left(\alpha_{1t}\mathrm{X}_i'(t)+\alpha_{2t}\mathrm{X}_i'(t\text{-}1)\right)=0 \end{aligned} \qquad (۱۵)$$

از حل معادله بالا برای w_i با n=1 و $N=1$ معادله (۱۶) حاصل می گردد. بنابراین توان ارسالی هر کاربر با توجه به رابطه (۷) به صورت

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

رابطه (۱۷) بیان می شود.

بدلیل تغییرات ناگهانی $\hat{\lambda}_{i,2}(t)$ و $\hat{\lambda}_{i,3}(t)$ [۳۲]، توان ارسالی در رابطه (۱۷) ممکن است مقادیر منفی به خود اختیار کند که به عنوان توان‌های ارسالی ممکن نیستند. از اینرو برای غلبه بر این مشکل تنها از مقادیر مثبت $\hat{\lambda}_{i,2}(t)$ و $\hat{\lambda}_{i,3}(t)$ استفاده می‌شود بطوریکه $\hat{\lambda}_{i,2}(t)=\lambda_{i,2}$ و $\hat{\lambda}_{i,3}(t)=\lambda_{i,3}$ می‌باشد. این سادگی بطور قابل توجّهی باعث کاهش پیچیدگی الگوریتم پیشنهادی می شود در عوض کمی از سرعت همگرایی آن می‌کاهد. تأثیر این سادگی در شکل (۳) نشان داده شده است. از اینرو الگوریتم پیشنهاد شده در بالا به فرم (۱۸) ساده می شود و آن را الگوریتم MOCIDPC معرفی می‌نماییم.

واضح است که به ازای $\lambda_{i,1}=\lambda_{i,3}=0$ و $\lambda_{i,2}=1$ در رابطهٔ (۱۸)، به الگوریتم DPC [۶] و به ازای $\lambda_{i,3}=0$ الگوریتم MODPC [۲۵] به عنوان حالتهای خاص از الگوریتم MOCIDPC می باشند.

الگوریتم MOCIDPC با توجّه به شرایط محدودیت توان ماکزیمم همانند (۱۹) بیان می شود.

در بخش ۳ به بحث مشخصه همگرایی الگوریتم MOCIDPC خواهیم پرداخت.

۳- همگرایی الگوریتم MOCIDPC

پیش از اینکه به بحث مشخصه همگرایی الگوریتم MOCIDPC اشاره شود، ابتدا تعریف زیر از [۳۰] بیان می‌نمائیم.

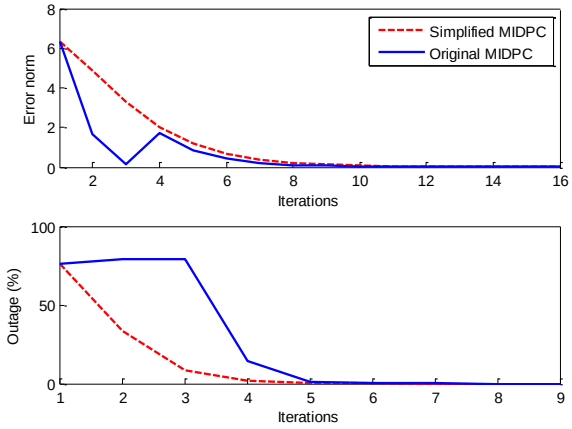
تعریف ۱. نگاشت کنترل توان را تابع تداخلی استاندارد گویند اگر شرایط زیر برای هر $\mathbf{p}\geq 0$ احراز شود.

۱. مثبت بودن: $\mathcal{I}(\mathbf{p})\geq 0$

۲. یکنوایی: اگر $\mathbf{p}_1\leq\mathbf{p}_2$ باشد آنگاه $\mathcal{I}(\mathbf{p}_1)\leq\mathcal{I}(\mathbf{p}_2)$

۳. مقیاس پذیری: شرط $\alpha\mathcal{I}(\mathbf{p})\geq\mathcal{I}(\alpha\mathbf{p})$ به ازای هر $\alpha>1$ ($\alpha\in\mathbb{R}$) برقرار باشد.

الگوریتم کنترل توانی که $\mathcal{I}(\mathbf{p})$ آن تابع استاندارد باشد، الگوریتم کنترل توان استاندارد گویند. از اینرو برای هر بردار توان اولیه $\mathbf{p}(0)>0$ الگوریتم به دو صورت سنکرون و آسنکرون به یک نقطه ثابت $\mathbf{p}^*$ همگرا می‌شود.



شکل (۳): مقایسه بین الگوریتم‌های MOCIDPC اصلی و ساده شده

$$\mathrm{w}_i=\frac{\lambda_{i,1}p_{i,min}+\left(\hat{\lambda}_{i,2}(t)+\beta\hat{\lambda}_{i,3}(t)\right)\Gamma_i^{\sup}}{\lambda_{i,1}p_i(t\text{-}1)+\left(\hat{\lambda}_{i,2}(t)+\hat{\lambda}_{i,3}(t)\right)\Gamma_i(t\text{-}1)-\hat{\lambda}_{i,3}(t)\Gamma_i(t\text{-}2)}\ ;\ t=0,1,2,\ldots\ ,i=1,2,\ldots,Q \qquad (۱۶)$$

$$p_i(t)=\left(\frac{\lambda_{i,1}p_{i,min}+\left(\hat{\lambda}_{i,2}(t)+\beta\hat{\lambda}_{i,3}(t)\right)\Gamma_i^{\sup}}{\lambda_{i,1}p_i(t\text{-}1)+\left(\hat{\lambda}_{i,2}(t)+\hat{\lambda}_{i,3}(t)\right)\Gamma_i(t\text{-}1)-\hat{\lambda}_{i,3}(t)\Gamma_i(t\text{-}2)}\right)p_i(t\text{-}1)\ ;\ \ t=0,1,2,\ldots\ ,i=1,2,\ldots,Q \qquad (۱۷)$$

$$p_i(t)=\left(\frac{\lambda_{i,1}p_{i,min}+\left(\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i^{\sup}}{\lambda_{i,1}p_i(t\text{-}1)+\left(\lambda_{i,2}+\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i(t\text{-}1)-\lambda_{i,3}\Gamma_i(t\text{-}2)}\right)p_i(t\text{-}1)\ ;\qquad t=0,1,2,\ldots\ ,i=1,2,\ldots,Q \qquad (۱۸)$$

$$p_i(t)=\min\left\{p_{i,max},\left(\frac{\lambda_{i,1}p_{i,min}+\left(\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i^{\sup}}{\lambda_{i,1}p_i(t\text{-}1)+\left(\lambda_{i,2}+\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i(t\text{-}1)-\lambda_{i,3}\Gamma_i(t\text{-}2)}\right)p_i(t\text{-}1)\right\};\ t=0,1,2,\ldots\ ,i=1,2,\ldots,Q \qquad (۱۹)$$

$$\mathcal{I}_i(\mathbf{p}(t))=\left(\frac{\lambda_{i,1}p_{i,min}+\left(\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i^{\sup}}{\lambda_{i,1}p_i(t\text{-}1)+\left(\lambda_{i,2}+\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i(t\text{-}1)-\lambda_{i,3}\Gamma_i(t\text{-}2)}\right)p_i(t\text{-}1)\ ;\quad t=0,1,2,\ldots\ ,i=1,2,\ldots,Q \qquad (۲۰)$$

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

قضیه ۱: برای هر بردار توان اولیه $\mathbf{p}(0)>0$ الگوریتم MOCIDPC در رابطه (۱۸) به یک نقطه ثابت همگرا می‌شود که این نقطه به مقادیر ضرایب مصالحه بستگی دارد.

اثبات: از تعریف بالا نشان داده می شود که الگوریتم MOCIDPC، جزو الگوریتم‌های کنترل توان استاندارد است و لذا به یک نقطه ثابت همگرا خواهد شد.

در رابطه (۲۰) تابع تداخلی استاندارد $\mathcal{I}_i(\mathbf{p}(t))$ از الگوریتم MOCIDPC تعریف شده است.

با استفاده از رابطه (۹) و حذف t (برای سادگی)، رابطه (۲۰) را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\mathcal{I}_i(\mathbf{p})=\frac{aI_i(\mathbf{p})}{\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{p})+\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{p})}{\mathbf{p}}} \qquad (۲۱)$$

که $a=\lambda_{i,1}p_{i,min}+\left(\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i^{\sup}$ می‌باشد. از طرف دیگر واضح است به ازای هر $\mathbf{p}\geq\mathbf{0}$ داریم:

$$\mathbf{p}\geq 0 \;,\; I_i(\mathbf{p})\geq 0 \quad ,\forall i=1,2,\ldots,Q \qquad (۲۲)$$

و همچنین

$$\mathbf{p}\geq\mathbf{Z} \;\Rightarrow\; I_i(\mathbf{p})\geq I_i(\mathbf{Z}) \quad ,\forall i=1,2,\ldots,Q \qquad (۲۳)$$

از آنجا که $\lambda_{i,1},\lambda_{i,2},\lambda_{i,3}\geq 0$ و $\beta>0$ می‌باشد، از روابط (۲۱) و (۲۲) خواهیم داشت:

$$\mathbf{p}\geq 0 \;\Rightarrow\; \mathcal{I}_i(\mathbf{p})\geq 0 \quad ,\forall i=1,2,\ldots,Q \qquad (۲۴)$$

بنابراین شرط مثبت بودن به اثبات می‌رسد.

شرط دوم با توجه به برهان خلف اثبات می‌گردد. فرض کنید که به ازای هر $\mathbf{p}\geq\mathbf{Z}$ آنگاه $\mathcal{I}_i(\mathbf{p})<\mathcal{I}_i(\mathbf{Z})$ باشد. لذا خواهیم داشت

$$\frac{aI_i(\mathbf{p})}{\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{p})+\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{p})}{\mathbf{p}}}<\frac{aI_i(\mathbf{Z})}{\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{Z})+\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{Z})}{\mathbf{Z}}} \qquad (۲۵)$$

یا

$$aI_i(\mathbf{p})<aI_i(\mathbf{p})\frac{\left[\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{Z})+\lambda_{i,2}\frac{I_i(\mathbf{Z})}{I_i(\mathbf{p})}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{Z})}{\mathbf{p}}\right]}{\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{Z})+\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{Z})}{\mathbf{Z}}} \qquad (۲۶)$$

اما از رابطه (۲۳) خواهیم داشت

$$0<\frac{\left[\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{Z})+\lambda_{i,2}\frac{I_i(\mathbf{Z})}{I_i(\mathbf{p})}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{Z})}{\mathbf{p}}\right]}{\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{Z})+\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{Z})}{\mathbf{Z}}}<1 \qquad (۲۷)$$

از اینرو فرض (۲۵) نادرست و رابطه زیر همواره برقرار است.

$$\mathbf{p}\geq\mathbf{Z} \;\Rightarrow\; \mathcal{I}_i(\mathbf{p})\geq\mathcal{I}_i(\mathbf{Z}) \quad ,\forall i=1,2,\ldots,Q \qquad (۲۸)$$

بنابراین شرط یکنوایی نیز به اثبات می‌رسد.

برای اثبات مشخصه سوم می‌بایست رابطه زیر برقرار باشد.

$$\alpha\mathcal{I}_i(\mathbf{p})\geq\mathcal{I}_i(\alpha\mathbf{p}) \quad ,\forall\alpha>1 \qquad (۲۹)$$

از جایگذاری رابطه (۲۱) در رابطه (۲۹) خواهیم داشت.

$$\frac{a\alpha I_i(\mathbf{p})}{\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{p})+\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\mathbf{p})}{\mathbf{p}}}\geq\frac{aI_i(\alpha\mathbf{p})}{\lambda_{i,1}I_i(\alpha\mathbf{p})+\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}\frac{I_i(\alpha\mathbf{p})}{\alpha\mathbf{p}}} \qquad (۳۰)$$

یا

$$\begin{aligned}&a\alpha\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{p})I_i(\alpha\mathbf{p})+a\alpha\lambda_{i,2}I_i(\mathbf{p})+a\alpha\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}I_i(\mathbf{p})\frac{I_i(\alpha\mathbf{p})}{\alpha\mathbf{p}}\\&\geq a\lambda_{i,1}I_i(\mathbf{p})I_i(\alpha\mathbf{p})+a\lambda_{i,2}I_i(\alpha\mathbf{p})+a\beta\lambda_{i,3}\Gamma_i^{\sup}I_i(\mathbf{p})\frac{I_i(\alpha\mathbf{p})}{\mathbf{p}}\end{aligned} \qquad (۳۱)$$

بدین ترتیب مشخصهٔ مقیاس پذیری نیز به اثبات می‌رسد.

لذا الگوریتم MOCIDPC یک تابع تداخلی استاندارد است و این بدین معناست که الگوریتم در هر دو حالت سنکرون و آسنکرون با شروع از هر بردار توان اولیه غیر منفی به یک نقطهٔ ثابت همگرا میشود.

۴- الگوریتم MOCITDPC[۲۳]

تا به حال فرض شده است که الگوریتم MOCIDPC همانند دیگر الگوریتم‌های توزیعی بطور کامل به SIR واقعی موبایل‌ها دسترسی دارد و از آن در بروز رسانی توان استفاده می‌نماید. اما در عمل تنها از یک یا دو بیت کنترلی برای بروز رسانی توان استفاده می‌شود. بنابراین در این بخش الگوریتم تنها با بکارگیری یک بیت کنترلی برای بروزرسانی توان، بهبود داده می شود.

برای این منظور از الگوریتم ESPC[۲۴] [۳۱] برای تخمین SIR با یک بیت کنترلی استفاده شده است تا اثرات خطای تخمین بر الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به الگوریتم ESPC داریم:

$$\tilde{\Gamma}_i(t)=\Gamma_i^{\sup}-\delta_i\left(\sum_{k=1}^{t-1}\upsilon_i(t-k)c_i(t,k)+\upsilon_i(t)\right) \qquad (۳۲)$$
$$t=0,1,2,\ldots,i=1,2,\ldots,Q$$

$$\upsilon_i(t)=sign\left(\Gamma_i^{\sup}-\Gamma_i(t)\right)E_{\mathrm{pc},i}(t) \qquad (۳۳)$$

$$c_i(t,k)=\frac{1}{2^k}\prod_{n=0}^{k-1}\left[1+\upsilon_i(t-n)\upsilon_i(t-n-1)\right] \qquad (۳۴)$$

که $E_{\mathrm{pc},i}(t)$ با احتمال $\mathrm{P}_{\mathrm{PCE},i}(t)$ برابر یک و با احتمال $1\text{-}\mathrm{P}_{\mathrm{PCE},i}(t)$

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

برابر منفی یک است و δ_i نیز اندازه پله تطبیقی برای کاربر iام تعریف می شود. بنابراین الگوریتم MOCIDPC می‌تواند با SIR تخمین زده شده در رابطه (۳۲) به جای SIR کامل بهبود یابد که آن را الگوریتم MOCITDPC نام گذاری کرده و به صورت زیر تعریف می شود:

$$p_i(t)=\left(\frac{\lambda_{i,1}p_{i,min}+\left(\lambda_{i,2}+\beta\lambda_{i,3}\right)\Gamma_i^{\sup}}{\lambda_{i,1}p_i(t-1)+\left(\lambda_{i,2}+\lambda_{i,3}\right)\tilde{\Gamma}_i(t-1)-\lambda_{i,3}\tilde{\Gamma}_i(t-2)}\right)p_i(t-1) \quad (۳۵)$$
$$t=0,1,2,\ldots \quad ,i=1,2,\ldots,Q$$

که در آن $\tilde{\Gamma}_i(t-1)$ و $\tilde{\Gamma}_i(t-2)$ از رابطه (۳۲) بدست می‌آیند.

۵- نتایج عددی

در این مقاله برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، از دو سناریوی متفاوت استفاده شده است. در سناریوی اول محیط کاملاً ایستان و نویزی است و همچنین الگوریتم‌های دست به دست شدن نرم به طور کامل انجام می گیرد. بطوری که هر کاربر به ایستگاه پایه ای با کمترین تلفات گین مسیر متصل می‌گردد. در سناریوی دوم بسیاری از پارامترها همانند سناریوی اول فرض شده است با این تفاوت که کانال دینامیکی است و شامل فیدینگ‌های آرام[۲۵] و سریع[۲۶] می‌باشد.

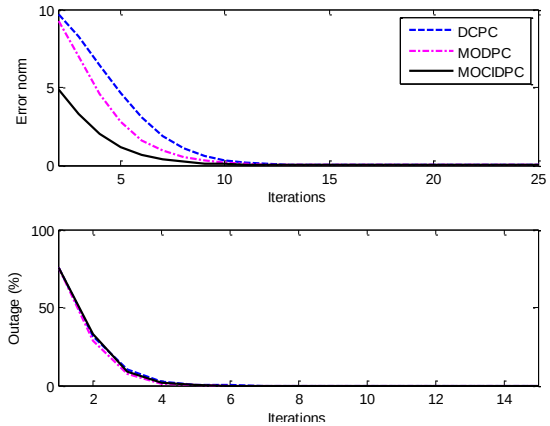
در هر دو سناریو، تعداد ۱۲۰ کاربر به طور یکنواخت در یک ناحیه $۲\times۲\,km^2$ با ۴ ایستگاه پایه پخش شده‌اند [۳۲] و توان ارسالی از تمام کاربران به $30dBm$ محدود شده است و در ضمن نویز کانال نیز یک متغیر گوسی با میانگین صفر و میانگین توان $-90dBm$ در نظر گرفته شده است.

نتایج الگوریتم پیشنهادی با دو الگوریتم DCPC [۶] و MODPC [۲۵] مقایسه شده است. این نتایج براساس ارزیابی دو پارامتر نرم خطا و درصد خروج بیان شده است که در آن از نرم خطا برای تشخیص سرعت همگرایی الگوریتم ها به بردار توان بهینه استفاده می شود.نرم خطا از تفاضل بین بردار توان ارسالی واقعی در هر شیار زمانی و بردار توان بهینه محاسبه می شود. لازم به ذکر است توان بهینه از حل الگوریتم کنترل توان متمرکز [۵] بدست می آید و همچنین درصد خروج نیز برابر تعداد شیارهای زمانی است که SIR کاربر کمتر از مینیمم SIR مجاز می‌باشد.

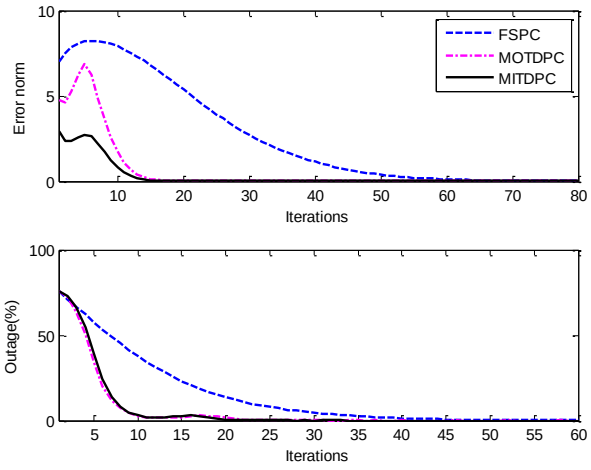
برای داشتن محیط شبیه‌سازی قابل قبول از محیط شبیه‌سازی [۲۵] و [۲۶] استفاده شده است. بطوریکه مینیمم SIR مجاز، $3dB$ کمتر از ماکزیمم SIR دست یافتنی و مقدار SIR ماکزیمم برای تمامی کاربران $-18dB$ فرض گردیده است [۲۵]. نتایج آزمایشات نشان می-دهد که با انتخاب $\lambda_{i,1}=0.028$، $\lambda_{i,2}=0.97$ و $\lambda_{i,3}=0.002$ و β=0.25 الگوریتم پیشنهادی از کارایی خوبی به لحاظ سرعت همگرایی و درصد خروج برخوردار است. از اینرو در شبیه‌سازی‌ها نتایج الگوریتم MOCIDPC را به ازای مقادیر بالا برای تمام iها بررسی شده‌اند (برای هر دو سناریو). نتایج الگوریتم MODPC به ازای $\lambda_{i,1}=0.01$ و $\lambda_{i,2}=0.99$ بررسی شده است [۲۵]. لازم به ذکر است همانطور که در قبل ذکر گردید به کارگیری فرم ساده شده از الگوریتم MOCIDPC علاوه بر کاهش پیچیدگی، منجر به افزایش سرعت همگرایی آن می گردد. نتایج شکل (۳) که حاصل ارزیابی الگوریتم در سناریوی ایستان می‌باشد بخوبی بیانگر این مطلب است. لذا در ادامه از فرم ساده شده الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است.

در شکل (۴) نتایج هر سه الگوریتم DPC، MODPC و MOCIDPC برای سناریوی ایستان بیان شده است. واضح است که الگوریتم MOCIDPC از نظر سرعت همگرایی، سرعت بسیار بالایی نسبت به دو الگوریتم DCPC و MODPC دارد و از لحاظ درصد خروج تفاوت چندانی با آنها ندارد.

نتایج شکل (۵) نشان دهنده ارزیابی کارایی از سه الگوریتم کاملاً توزیعی FSPC، MOTDPC و MOCITDPC می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد اگر چه درصد خروج الگوریتم MOCITDPC کمی بیشتر از الگوریتم MOTDPC است ولی سرعت همگرایی بسیار بالایی نسبت به هر دو الگوریتم FSPC و MOTDPC دارد.



شکل (۴): ارزیابی نرم خطا و درصد خروج برای سناریوی ایستان



شکل (۵): ارزیابی نرم خطا و درصد خروج MOCITDPC برای سناریوی ایستان

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

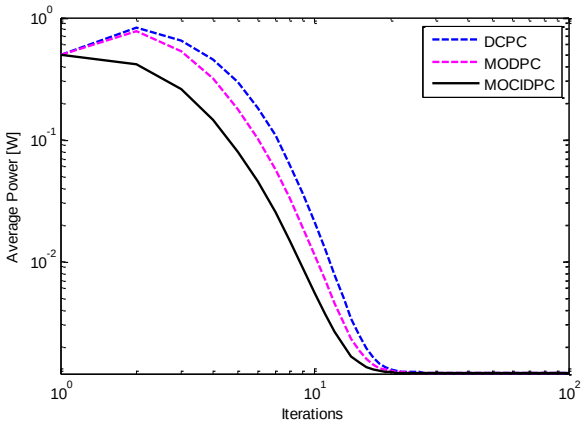
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014

نتایج شکل (۶) و (۷) بترتیب نشان دهنده میانگین توان ارسالی از هر کاربر به ازای شیارهای زمانی متفاوت برای سه الگوریتم توزیعی و کاملا توزیعی است. که نشان دهنده پائین بودن توان ارسالی دو الگوریتم MOCIDPC و MOCITDPC نسبت به الگوریتم‌های توزیعی و کاملا توزیعی است.

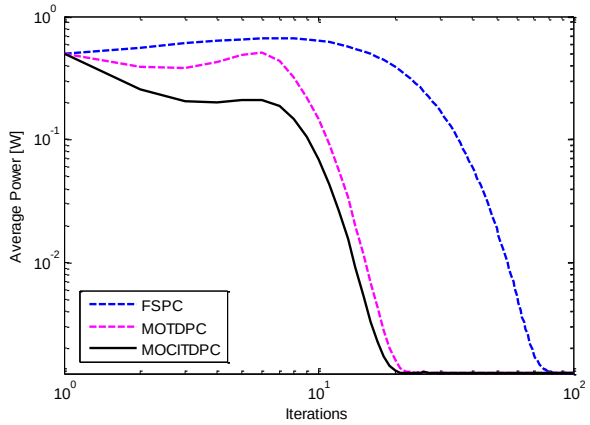
در جدول (۱) به بررسی کمی میانگین توان ارسالی از الگوریتم های کنترل توان توزیعی و کاملاً توزیعی پرداخته شده است. نتایج از این جدول نشان می‌دهد که الگوریتم‌های MOCIDPC و MOCITDPC کمترین میانگین مصرفی توان را نسبت به دیگر الگوریتم های کنترل توان دارند. بطوریکه در الگوریتم های توزیعی میانگین مصرف توان از الگوریتم MOCIDPC نسبت به دو الگوریتم DCPC و MODPC به ترتیب $3dBW$ و $2dBW$ کمتر می باشد. تفاوت بسیار محسوس در میانگین مصرف توان می توان در الگوریتم های کاملاً توزیعی دیده شود. بطوریکه الگوریتم MOCITDPC دارای میانگین مصرف توان $-16.489dBW$ در حالی که دو الگوریتم FSPC و MOTDPC دارای میانگین مصرفی توان $-8.225dBW$ و $-13.93dBW$ می باشند.

برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها در سناریوی دینامیکی از مدل دینامیکی [۳۳] استفاده شده است. بطوریکه میانگین سرعت هر کاربر معادل با $30km/h$ می‌باشد. نتایج شکل (۸) برای ارزیابی هر سه الگوریتم در سناریوی دینامیکی است که بیانگر سرعت بالای الگوریتم MOCIDPC در رسیدن به بردار توان بهینه نسبت به دو الگوریتم دیگر است در عین حال درصد خروجی معادل با آنها دارد.

میانگین توان مصرفی در حالت دینامیکی نیز به عنوان معیار دیگری از الگوریتم های کنترل توان در جدول (۱) ذکر شده است. از نتایج در جدول (۱) واضح است که میانگین توان مصرفی از الگوریتم MOCIDPC نسبت به تمامی الگوریتم های توزیعی بسیار کمتر است. از طرف دیگر در ارزیابی الگوریتم های کاملاً توزیعی نیز دیده می شود که الگوریتم MOCITDPC کارایی بهتری از لحاظ میانگین توان مصرفی نسبت به هر دو الگوریتم کاملاً توزیعی از خود نشان می دهد. از آنجا که این سناریو دینامیکی است، بهتر است چگونگی دنبال نمودن الگوریتم‌های مختلف به نوسانات توان ارسالی از یک کاربر، مورد بررسی قرار گیرد. شکل (۹) نشان دهنده نمونه‌ای از توان ارسالی یک کاربر، که به دلخواه انتخاب شده است با استفاده از الگوریتم‌های بهینه (متمرکز شده [۵])، DCPC، MODPC و MOCIDPC می باشد. نتایج در این شکل نشان می‌دهد که الگوریتم MOCIDPC بهتر از دیگر الگوریتم‌های توزیعی تغییرات کانال (تغییرات تداخل) را دنبال می‌کند.



شکل (۶): میانگین توان ارسالی از سه الگوریتم کنترل توان توزیعی



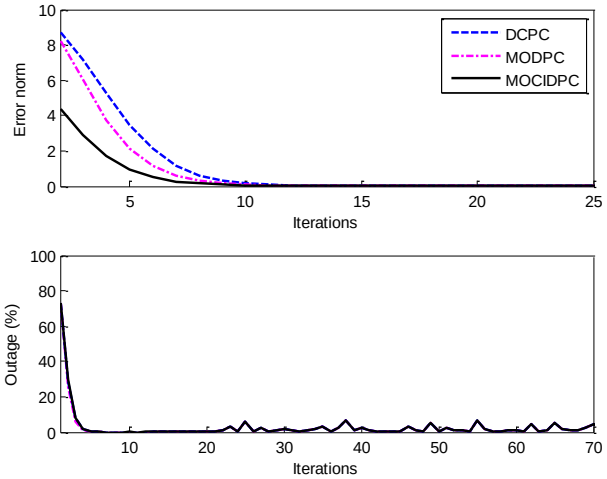
شکل(۷): میانگین توان ارسالی از سه الگوریتم کنترل توان کاملا توزیعی

جدول (۱): مقایسه میانگین توان ارسالی برحسب dBW از الگوریتم های مختلف توزیعی و کاملا توزیعی برای سناریوهای ایستان و دینامیکی

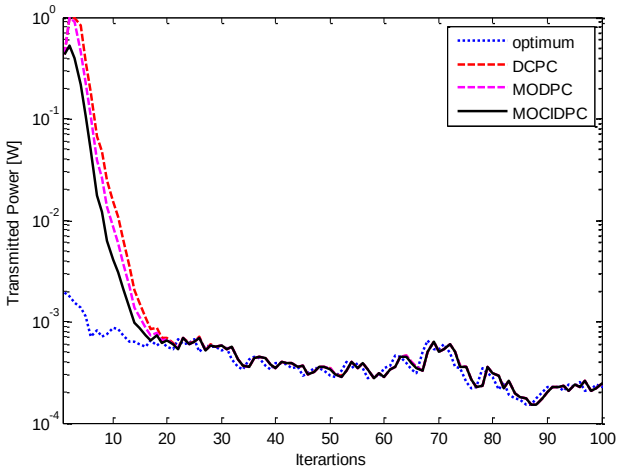
الگوریتم کنترل توان	DCPC	MODPC	MOCIDPC	FSPC	MOTDPC	MOCITDPC
سناریوی ایستان	-14.93	-15.86	-18.00	-8.225	-13.90	-16.47
سناریوی دینامیکی	-15.01	-15.97	-18.19	-8.126	-13.93	-16.59

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



شکل (۸):ارزیابی نرم خطا و درصد خروج برای سناریوی دینامیکی



شکل (۹): توان ارسالی از یک کاربر به ازای الگوریتم‌های مختلف کنترل توان

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم کنترل توان توزیعی جدید بر مبنای بهینه سازی چندمنظوره ارائه شده است. این الگوریتم می تواند بطور همزمان سه هدف (۱- مینیمم کردن توان ارسالی ۲- نگه داشتن QOS دریافتی در یک سطح قابل قبول ۳- کمتر کردن نوسانات SIR دریافتی) را بهینه کند و نیز با شروع از هر بردار توان اولیه به یک نقطه ثابت همگرا شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی علاوه بر سرعت همگرایی بالا از حساسیت کمتر نسبت به خطاهای تخمین و نیز میانگین توان ارسالی کمتری نسبت به دو الگوریتم DCPC و MODPC برخوردار است. لازم به ذکر است مطابق با نتایج عددی بدست آمده از نسخه عملی الگوریتم پیشنهادی، می توان یافت که این شیوه کارایی بهتری نسبت به روشهای FSPC و MOTDPC از خود نشان می‌دهد.

مراجع

[1] J. M. Aein, “Power balancing in systems employing frequency reuse,” *COMSAT Tech. Rev.*, vol. 3, no. 2, 1973.

[2] H. Alavi, R. W. Nettleton, “Downstream power control for a spread spectrum cellular mobile radio system,” *Proc. IEEE GLOBECOM’82*, pp. 84-88, 1982.

[3] R. W. Nettleton, H. Alavi, “Power control for a spread spectrum cellular mobile radio system,” *Proc. IEEE VTC’83*, pp. 242-246, 1983.

[4] J. Zander, “Performance of optimum transmitter power control in cellular radio systems,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 57-62, 1992.

[5] J. Zander, “Transmission power control for co-channel interference management in cellular radio systems,” In Proc. Fourth WINLAB Workshop on Third Generation Wireless Information Networks, pages 241-247, 1993.

[6] S. Grandhi and J. Zander, “Constrained power control in cellular radio systems,” in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf*, 1994, vol. 2, pp. 824–828.

[7] J. Zander, “Distributed co-channel interference control in cellular radio systems,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 305-311, 1992.

[8] S. A. Grandhi, R. Vijayan, D. J. Goodman, “Distributed power control in cellular radio systems,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 42, no. 2/3/4, pp. 226-228, 1994.

[9] H. J. Meyerho, “Method for computing the optimal power balance in multibeam satellite,” *Comsat Technical Review*, vol. 3, no. 2, 1974.

[10] G. J. Foschini, Z. Milijanic, “A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 42, no. 4, pp. 641–646, 1993.

[11] M. Moulavi-Kakhki, D. Rejlay, “A Comprehensive Performance Analysis of Direct Detection Receivers in WDMA Systems,” *Journal of Iranian Association Electrical and Electronics Engineers*, vol. 5. no. 2, 2008.

[12] D. Mitra, “An asynchronous distributed algorithm for power control in cellular radio systems,” In *Proc. Fifth WINLAB Workshop on Third Generation Wireless Information Networks*, pages 249-259, 1993.

[13] R. Jäntti and S. Kim, “Second-order power control with asymptotically fast convergence,” *IEEE J. Sel Areas Commun.*, vol. 18, no. 3,pp. 447–457, Mar. 2000.

[14] Z. Uykan and H. N. Koivo, “Sigmoid basis nonlinear power control algorithm for mobile radio systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 265–271, Jan. 2004.

[15] Z. Uykan and H. N. Koivo, “Proportional power control algorithm for time varying link gains in cellular radio systems,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 341–349, Jan. 2006.

[16] Z. Uykan, R. Jäntti, and H. N. Koivo, “A PI- power control algorithm for cellular radio systems,” in *Proc. IEEE-ISSSTA*, vol. 2, pp. 782–785, Sep. 2000.

[17] J. Y. Hung, W. Gao, and J. C. Hung, “Variable structure control: A survey,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 40, no. 1, pp. 2–22, Feb.1993.

[18] L. Qian and Z. Gajic, “Variance minimization stochastic power control in CDMA systems,” IEEE *Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 1, pp. 193–202, January 2006.

[19] Sarat Dontula and S. Jagannathan, “Active link protection for wireless peer-to-peer and cellular networks with

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.11- No.2- Fall & Winter 2014

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

power control," *Proc. World Wireless Congress*, pp. 612-617, May 2004.
[20] A. l-Osery and C. Abdallah, "Distributed power control in CDMA cellular systems," *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 42, no. 4, Aug.2000.
[21] G. Lee and S.-C. Park, "Distributed power control in fading channel," *Electronics Letters*, vol. 38, no. 13, pp. 653-654, June 2002.
[22] S. Jagannathan, M. Zawodniok, and Q. Shang, "Distributed power control for cellular networks in the presence of channel uncertainties," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 3, 540–549, March 2006.
[23] H.Farrokhi, M.Rezayi, *"An Improved Distributed Power-Control Scheme for Cellular Mobile Systems", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, vol.20, No.1, pp. 141,148 , Turkey, 2012.*
[24] M. S. Elmusrati and H. Koivo, "Multi-objective distributed power control algorithm," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf. (VTC)*, vol. 2, pp. 812–816, Sept. 2002.
[25] M. Elmusrati, R. Jantti, and H. Koivo, "Multi-objective distributed power control algorithm for CDMA wireless communication systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, no. 2, pp. 779–788, Mar. 2007.
[26] M. Elmusrati, H. El-Sallabi, H. Koivo, "Applications of Multi-Objective Optimization Techniques in Radio Resource Scheduling of Cellular Communication Systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 1,pp. 779–788, January 2008.
[27] K. Miettinen, *Nonlinear multiobjective optimization*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.
[28] C. Coello, "A short tutorial on evolutionary multiobjective optimization," *First Int. Conf. on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, Springer-Verlag, , Mar. 2001, pp. 21─40.
[29] J. Candy, *Signal Processing- the modern approach*, McGraw-Hill, 1987.
[30] R. Yates, "A framework for uplink power control in cellular radio systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 13, pp. 1341-1347, Sept.1995.
[31] M. Elmusrati, M. Rintamäki, I. Hartimo and H. Koivo, "Fully distributed power control algorithm with one bit signaling and nonlinear error estimation," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, Orlando, USA, Oct. 2003.
[۳۲] مصطفی رضایی، "معرفی یک روش کنترل توان توزیعی با بهینه‌سازی چندمنظوره و ارزیابی عملکرد آن در بهبود کنترل توان در سیستم‌های سلولار CDMA،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، دانشکده برق و کامپیوتر، صفحات ۱-۱۵۰، ۱۳۸۹.
[33] H. Zhang, C. S. Chen,W. S. Wong, "Distributed Power Control for Time Varying Systems: Performance and Convergence Analysis,," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 5, pp. 1896–1904, Sep. 2005.

زیرنویس ها

[1] Multi-Objective Optimization
[2] Signal to Interference Ratio
[3] Bang-Bang Power Control
[4] Fixed Step Power Control
[5] Multiobjective Totally Distributed Power Control
[6] Code Division Multiple Access
[7] SIR Balancing
[8] Distributed Constrained Power Control
[9] Maximum Achievable SIR
[10] Quality of Service
[11] Target SIR
[12] Successive Over Relaxation
[13] Varibale Structure Systems
[14] Link Gain
[15] Stochastic power control
[16] Linear Quadratic Power Control
[17] Single Objective
[18] Multiobjective Constant Improved Distributed Power Control
[19] Decision maker
[20] Weighted Metrics
[21] Time slot
[22] Base Station
[23] Multiobjective Constant Improved Totaly Distributed Power Control
[24] Estimated Step Power Control
[25] Slow Fading
[26] Fast Fading

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]