

ИЗСЛЕДВАНЕ НА РЕСУРСНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ И МОЩНОСТЕН БАЛАНС ПРИ БЕЗЖИЧНИ СИСТЕМИ ЗА ПРЕНΟΣ НА ДАННИ

ас. д-р Росен Пасарелски – НБУ

1. Въведение в тематиката

Управление на мощността

Алгоритмите за управление на мощността се използват за подобряване на общите параметри и характеристики на системата. Автоматичното управление на мощността се прилага чрез базовата станция и представлява изпращане на сигнали по служебен канал към група от абонатни устройства за регулиране на излъчената мощност, така че на входа на приемника на базовата станция да се постигне предварително определено ниво на приемане.

Управлението на мощността намалява общата консумация на крайното устройство, както и потенциалните смущения към други базови станции, разположени в близост до абоната. При наличие на пряка видимост мощността на предаване на абонатното устройство е пропорционална приблизително на разстоянието γ от базовата станция. В случай на NLOS мощността на предаване зависи силно от размера на закритието (просвета) на първа френелова зона, както и от вида на препятствията.

Методи за кодиране

Кодирането се използва за добавяне на излишък към предавания сигнал с цел откриване на грешки при неговото приемане. Откритите грешки в приемната част могат да се поправят чрез прилагане на предварителна корекция (Forward Error Correction, FEC) още в предавателя или чрез схема за автоматично генериране на заявка за повторно предаване на сгрешения блок от данни (Automatic Retransmission Request, ARQ). FEC се предпочита пред ARQ, тъй като повторното предаване намалява пропускателната способност на системата и води до закъснения, които често са недопустими за приложения като глас или видео, предавани в реално време.

Методите за кодиране, използвани в безжичните системи за пренос на данни включват блокови, конволюционни и пространствено-времеви кодове. Блоковите и конволюционните кодове прибавят излишък във времевата област с добавяне на допълнителни битове към времевата поредица от информационни битове. Пространствено-времевите кодове използват наличието на некорелирани импулсни характеристики, когато се използва множество от предаващи и приемащи антени елементи. Тези кодове се използват в комбинация с описаните по-долу MIMO антени системи, и добавят излишък както във времевата, така и в пространствената област. При технологията „точка към много точки“ използването на OFDM-модулиран сигнал с антени тип MIMO, в съчетание с пространствено-времеви кодове, е най-ефективния начин за подобряване на възможностите за предоставяне на услугата в отсъствие на пряка видимост.

Анени

При далекосъобщителните системи за фиксиран широколентов безжичен достъп параметрите на избраните антени – работен честотен обхват, честотна лента и насочени свойства – оказват голямо влияние върху капацитета (максималният брой абонати) и покритието на мрежата. Основните антенни параметри са:

- диаграма на излъчване;
- насоченост;
- усилване;
- честотна лента;
- поляризация.

Аntenите, според тяхното предназначение, се разделят най-общо на два основни вида – за базови станции и за крайни станции. Всяка от тях може да бъде с ненасочена и с насочена диаграма на излъчване.

В базовата станция обикновено се предпочита секторизирана антена пред насочената, тъй като това увеличава капацитета на системата и намалява възможността от смущения между отделните базови станции. Секторизираната антена представлява „разделяне“ на антенната система с ненасочена диаграма на излъчване на няколко антени, всяка от която е с насочена диаграма на излъчване. По този начин излъчената електромагнитна енергия се съсредоточава в определен сектор с доста по-малка площ.

Видът на антената за крайната станция зависи от възможността на системата „точка към много точки“ да поддържа връзка при отсъствие на пряка видимост. При необходимост от пряка видимост базовата и крайната станция абонатните антени са силно насочени и се инсталират външно от професионално техническо лице. Когато системата поддържа радиовръзка при отсъствие на пряка видимост, диаграмата на излъчване е значително по-широка, тъй като е ненасочена, а потребителят може да я инсталира без чужда помощ.

Характеристиките и капацитетът на безжичните далекосъобщителни системи са ограничени от три главни фактора – фединг, закъснение на сигнала и смущения, които могат да възникнат. Усъвършенстваните антенни системи, в това число системите с пространствено разнесено приемане, адаптивните антенни системи и MIMO антенните системи, могат да се приложат в мрежите за безжичен достъп за намаляване на влиянието на посочените неблагоприятни фактори.

Антенните системи за разнесено приемане намират приложение за намаляване на фединга на амплитудата на сигнала, причинен от многолъчевото разпространение. Тези системи използват набор от антени в приемната част за осъществяване на пространствено разнесено приемане. Идеята е, че приетите от множество антени сигнали ще имат некорелиран фединг, което означава, че тези сигнали могат или да се сумират, или да се избере най-силният от тях.

Адаптивните антени системи, наричани още интелигентни (smart) антени, се използват за борба със смущенията по еднакъв канал. Тези системи използват адаптивни решетки при оформяне на диаграмата на излъчване на антената, като по този начин усилват желаните сигнали и подтискат смущаващите. Процесът е известен още като оптимално комбиниране и изисква предаването на предварително известна обучаваща последователност заедно с информационния поток. Получената обучаваща последователност се сравнява с оригиналната и антенната решетка се настройва към минимизиране на разликата между двете. Целта е да се постигне оптимално приемане на данните при минимални смущения по еднакъв канал.

Антенните системи с много входове и много изходи (Multiple Input Multiple Output, MIMO) използват набор антени, както при приемане, така и при предаване на сигнала. В основата на тази модерна технология е това, че между импулсните характеристики на различните канали между множеството антени има слаба корелация и чрез подходяща сигнална обработка могат да се разделят несмущаващите се канали между приемника и предавателя. По този начин възникналите няколко потока могат да бъдат предавани едновременно, което увеличава капацитета на системата, без при това да се налага използването на допълнителен честотен ресурс.

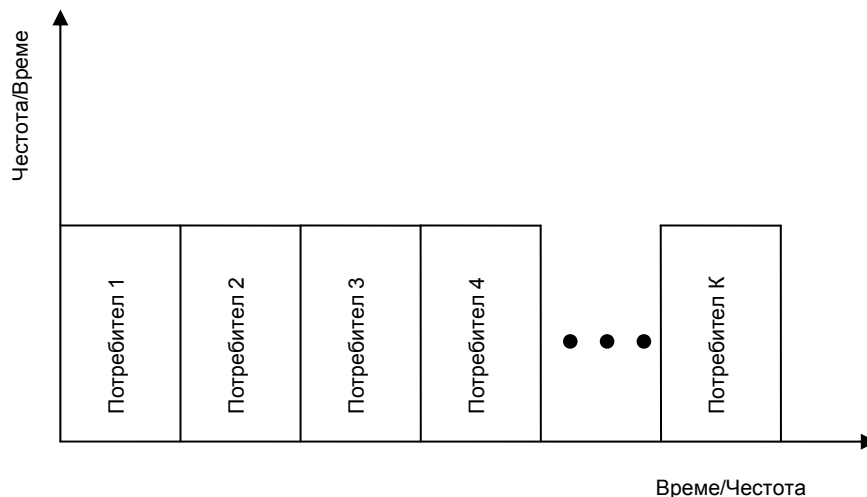
2. Изследване на ресурсното разпределение и мощностен баланс при безжични системи за пренос на данни

Безжичната система включва централизирана комуникация на базова станция, свързана с определен брой потребители, намиращи се в нейната област на радиопокрытие. Нуждата от разпределение на ресурсите на базовата станция се поражда с цел интелигентното разпределение на ограничените ресурси - като тотална предавателна мощност и свободна честотна лента, между потребителите, за да отговори на изискванията на клиентите. Адаптивното "channel-aware" разпределение на ресурсите показва по-добро системно изпълнение съпоставено със статичното такова и това го превръща във все по-важен фактор в настоящите и бъдещите безжични комуникационни системи. В постоянно развиващият се сектор на телекомуникациите е от изключително значение да се следва нивото на изискванията на потребителите, което ежедневно расте. Адаптивното разпределение на ресурсите в мултиканална приемо-предавателна безжична система е голямо предизвикателство, заради допълнителната степен на свобода на ресурси и потенциал за предлагане на по-високи скорости при трансфер на данни. Много канали могат да бъдат създадени в честотния домейн, използвайки много носещи честоти - многочестотна модулция (MCM) или в пространствен домейн с множествени приемо - предавателни антени - множествено входящо-изходящи системи (MIMO). Това изследване цели да изучи системните изпълнения т.е. пълната пропускливост и/или равнопоставеност в многопотребителски многоканални безжични системи с адаптивно разпределение на ресурсите и да формулира и предложи ниско комплексни алгоритми, които са подходящи за ценово ефективни имплементации в практическите системи в реално време.

Първата част на изследването е обща рамка за адаптивно разпределение на ресурсите в многопотребителски системи с много носещи честоти. Поставената задача е да се онагледят тезата, че с наличието на много трафични канали се увеличава общата производителност при равноправни системи и да се наложи пропорционално разделяне на трафика сред потребителите. Като се има в предвид глобалното оптимизиране на системите, изследването е насочено към формулиране на ниско комплексен алгоритъм, който разделя субканала и преразпределя или балансира предавателната системна мощност.

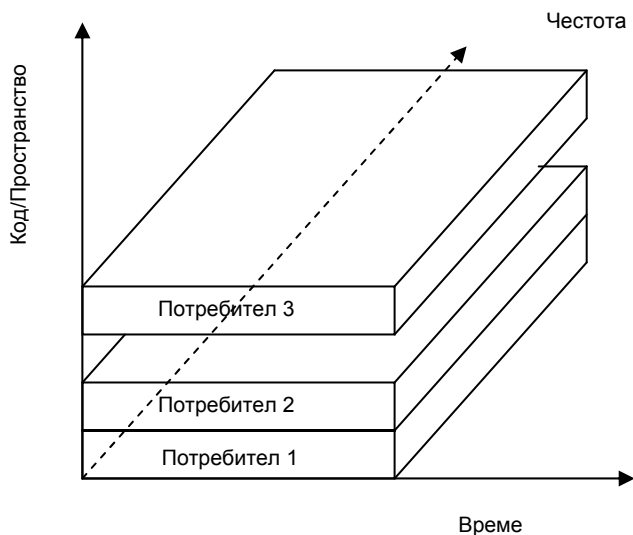
Втората част засяга предкодирането на информацията, използвайки методите на блоковата диагонализация (BD) за едночестотни приемо – предавателни безжични системи.

2.1 Технологии за споделяне на спектъра



Фиг. 1.1 TDMA и FDMA

Безжичните комуникационни системи са основно многопотребителски комуникационни системи. Ограниченият честотен спектър се споделя между много потребители за ефективна и уплътнена комуникация. Технологиите за разпределяне на спектъра типично включват времево разделяне за множествен достъп - TDMA, честотно разделяне за множествен достъп - FDMA, кодово разделяне за множествен достъп - CDMA и пространствено разделяне за множествен достъп SDMA.



Фиг. 1.2 CDMA и SDMA

Технологията – TDMA, разделя времето за предаване на информация в серия от числа и времеви слотове. На един потребител е позволено да изпраща в един времеви слот на цялата честотна лента. Подобно FDMA създава много суб-честоти в честотен домейн. Потребител може да заеме суб-честота през целия период на предаване. На фиг. 1.1 се показва базовата идея на TDMA и FDMA технологиите.

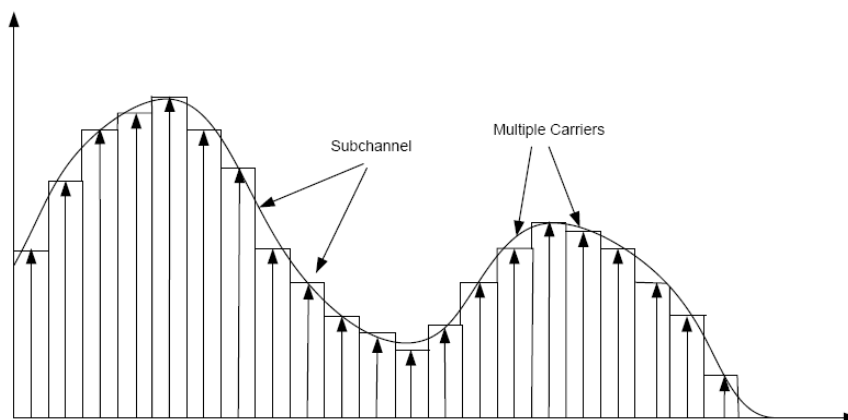
При CDMA вместо да се разделят потребителите във времеви или честотен домейн, технологията различава потребителите чрез кодов домейн. Всеки активен потребител има правото да заема специална цифрова поредица, с наличието на която множеството абонати могат да изпозват една и съща честотна лента по едно и също време без да има значително смущение помежду им. При SDMA чрез реализиране на множество приемо - предавателни антени се разделят потребителите в пространствен домейн. Това дава възможност за използване на честотната лента едновременно от всички. Базовата идея на CDMA и SDMA е показана на фиг. 1.2.

Важно е да се отбележи, че технологиите за множествен достъп се използват в комбинации. Например WCDMA / TDD използва CDMA с TDMA, където времето за предаване е разделено на няколко времеви слота и във всеки един времеви слот, няколко потребители могат да изпозват CDMA, за да имат достъп до цялата честотна лента. В допълнение FDMA се използва в почти всички клетъчни системи.

2.2 Разпределение на ресурсите в безжични комуникационни системи

В примо - предавателните безжични системи централизираната базова станция трябва да може да комуникира с множество потребители с ограничени ресурси (например пълна предавателна мощност и свободна честотна лента). Свободно да могат да се разделят потребителите по време, честота, код или пространствен домейн. Критично за работата на системата е как приемо-предавателната станция разделя ресурсите между потребителите. По-ранните поколения безжични системи бяха адаптирали статично разпределение на ресурсите. Чрез множествен достъп до системата с времево или честотно разделяне, базовата станция обслужва един потребител в определен времеви слот или честота независимо от потребителските канали. Безжичният канал е времево променлив и честотно избирателен. Каналите използвани от различни потребители са независими, поради различните локации на потребителите. Базовата станция трябва да разпределя ограничените ресурси между потребителите като взема предвид състоянието на канала и подобрява системната производителност. Чрез използване на метода за адаптивно ресурсно разпределение в мултиканална приемо - предавателна система се поражда възможности за допълнителна степен на свобода и ефективно уплътняване на ресурсите. Този надежден и гъвкав способ привлича все повече вниманието на телекомуникационните специалисти и мрежовите проектанти.

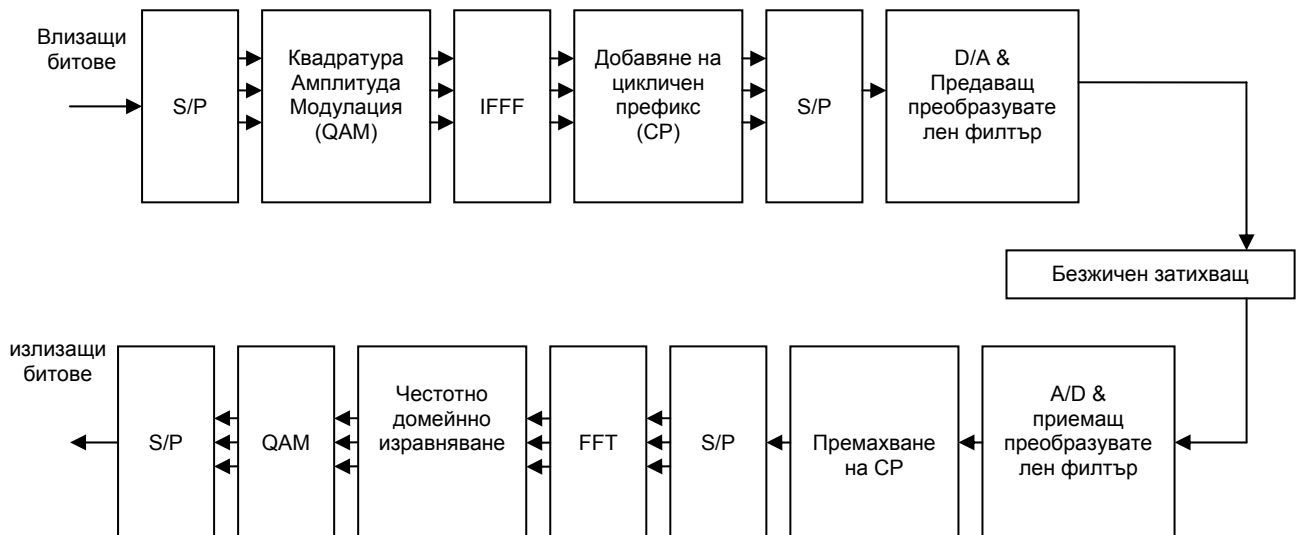
2.2.1 Много-носеца модулация (Multicarrier Modulation)



Фиг. 1.3: Много-носеца модулация

Многоносещата модулация ефективно използва честотната лента и позволява поддържане на висока скорост на пренос на информацията при безжична и жична комуникация. С увеличаване на нуждите за пренос на данни, предавателната честотна лента се увеличава значително. Следователно, безжичния канал показва мултиканални свойства във времеви домейн или селективни такива в честотния домейн. Успешна трансмисия през честотно селективния канал е по предизвикателна от теснодиапазонон честотен плосък канал, поради вътресимволните интерференции които намаляват системната

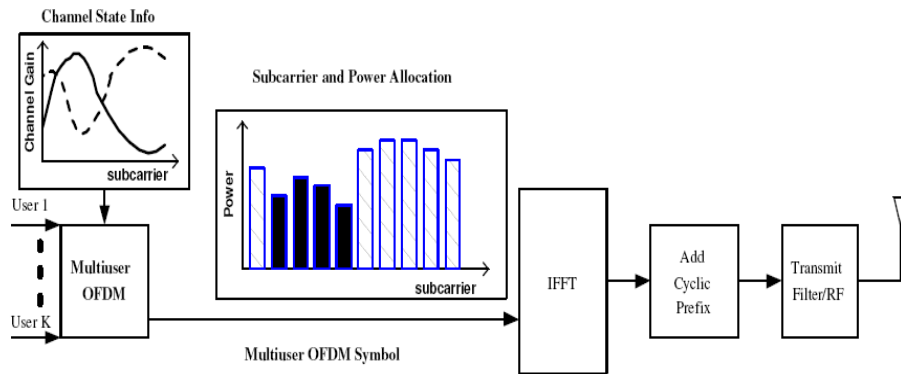
производителност. По-добри сигнално обработващи техники са предложени в изследването, за да се борят срещу каналната дисперсия. Много-носещата модулацията разделя цялата честотна лента в няколко паралелни субканала. Докато броя на субканалите е доста голям, честотния отговор във всеки един субканал е много по-нисък, както е показано на фиг. 1.3. Поради това изравняването за всеки суб канал е по-лесно да се направи.



Фиг. 1.4 Блокова диаграма на OFDM трансивър

Диаграма на OFDM трансивър е показана на фиг 1.4. Серииното подаване на информация се конвертира в няколко паралелни потока. След Квадратурно-амплитудна модулация (QAM), символите са предадени в Инвертно Гранично трансформируем блок (IFFT). От паралелно към серийно преобразуване се прави с цел да се формира OFDM символ във времевия домейн. Последните проби в IFFT се копират в предната част на OFDM символа като циклически префикс CP. Докато дължината на циклическия префикс е по-голяма от дисперсията на безжичния канал, се изисква изравняването на първата част на честотния домейн за всеки суб канал, за да се възтанови предадената информация, защото многолъчевия канал изглежда като кръгов с CP. Остатъкът от приемните блокове обръщат операциите на предавателя.

На базата на това, че OFDM има възможността да създава много паралелни субканални, възниква технология с множествен достъп до системата, която е многопотребителска – множествен достъп до система с ортогонално честотно деление O(FDMA). В мултипотребителска OFDM система, много потребители могат да бъдат планирани за предаване по различни субканални в един OFDM символ. Поради различната локация на потребителите и техните независими канално затихващи статистики, суб-каналите може да бъдат разпределени на потребителите, които са с по-голямо усилване или мощност. Фиг. 1.5 показва мултипотребителска OFDM система.



Фиг 1.5 Мултипотребителска OFDM Блокова диаграма

Адаптивното ресурсно разпределение в многопотребителски OFDM системи по принцип може да бъде определено като проблем с оптимизация т.е. минимизиране на пълната предавателна мощност с изискванията на потребителите за предаване на информацията или увеличаване на пълната предавателна мощност, която трансмитера може да поддържа. Формулирани оптимизационните проблеми често са много трудни за разрешаване, поради което е необходимо да бъдат предложени алгоритми с ниска сложност. Оптималният мениджмънт на честотния спектър цели да се увеличи тежестта и сумарния капацитет като оптимално разпредели субканала и мощността между потребителите.

Въпреки цялата работа върху адаптивното ресурсно разпределяне в мултипотребителски OFDM системи все още има пропуски в общата оптимизация, с която цялата производителност и равното разпределение на ресурсите между портребителите може да бъде реализирано. Например, въпреки че пълната производителност може да бъде максимално увеличена, алгоритъмът може да отдели повечето от ресурсите на един потребител, докато оставя на други по-малко. С премереният капацитет проблема с равнопоставянето може да бъде подобро до определено ниво с промяна на основната функция, но това е друдно да се проектира. Алгоритъмът за равнопоставеност при разпределение на канала в многопотребителска система е базиран на предварително договорени решения. Скоростите на потребителите обаче не могат да бъдат гарантирани да са напълно пропорционално разпределени в даденият алгоритъм. До края на това изследване се излага концепция за оптимизиране на този проблем, за да може да се максимизира пълната производителност и да се запази пропорционалното резпределяне на трафика между потребителите. От тук, равнопоставеността на потребителите може лесно да бъде определена и проектирана чрез съвкупност от параметри.

2.3. Оптимално разпределение на субканалите и мощностен баланс

В идеалният случай субканалите и мощността трябва да бъдат разпределени еднакво, за да се постигне оптимално решение в основното математическо уравнение. Но това съдържа недопустим изчислителен товар в базовата станция в случая, за да се достигне оптимално разпределение. Освен това базовата станция трябва бързо да изчисли оптимален субканал и мощностно разпределение, както и промени в безжичния канал. От тук субоптималните алгоритми с по-малка комплексност и имплементация, със забавяне на чувствителността, са предпочитани. Разпръскването на субканала и мощността е начин да се намали сложността, защото броя от променливи в главната функция е почти на половина намален. В следващата секция се дискутира схемата за субканално разпределение. Представя се оптимален начин за дистрибуция на мощност в определен субканал.

Оптимално субканално разпределение

В тази част на изследването е представен алгоритъм за оптималното субканално разпределение. В алгоритъмът равната мощностна дистрибуция е разположена по всички субканалите. Зависимостта канал-шум за потребител k в

$$H_{k,n} = \frac{h_{k,n}^2}{N_{0N}^B}$$

субканал n е дефинирана като $H_{k,n}$ и Ω_k е набора от субканалите отредени за потребител k . Алгоритъмът може да бъде описан като

1. Определение:

Определете $R_k = 0$, $\Omega_k = \emptyset$ за $k=1,2,\dots,K$ и $A = \{1,2,\dots,N\}$

2. За $k=1$ до K

(а) да се намери n удовлетворяващо $|H_{k,n}| > |H_{k,j}|$ всички $j \in A$

(б) нека Ω_k и да се обнови R_k според (2.2)

3. Когато A е различно \emptyset

(а) намерете k удовлетворяващо $R_k |y_k| < R_i |y_i|$ за всички $i, 1 < i < K$

(б) за намереното k намерете n удовлетворяващо $|H_{k,n}| > |H_{k,j}|$ за всички $j \in A$

(с) за намереното k и n нека $\Omega_k = \Omega_k \cup \{n\}$, $A = A - \{n\}$ и да се обнови R_k според (2.2)

Принципът на оптималния субканален алгоритъм е всеки потребител да използва субканалите с колкото може по-високо отношение канал-шум. Във всяко повторение потребителя с най-малък пропорционален капацитет има възможността да избере кой субканал да използва. Субканалното разпределение е оптимално, защото е предположена равна предавателна мощност във всички субканалите. След субканалната алокация е достигната само груба пропорционална равноправност. Целта на максимизиране на сумарния капацитет, докато поддържа пропорционално равенство достигнато от разпределение на мощността, е показано в следващата част от изследването.

Оптимална предавателна мощност за фиксирано субканално разпределение

За точно определен субканал оптимизационният проблем е формулиран като:

$$\max_{p_{k,n}, \rho_{k,n}} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \frac{\rho_{k,n}}{N} \log_2 \left(1 + \frac{P_{k,n} h_{k,n}}{N_0 \frac{B}{N}} \right) \quad (4.5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n \in \Omega_k} p_{k,n} \leq P_{total}$$

$$p_{k,n} \geq 0 \text{ за всяко } k, n$$

$$\Omega_k \text{ са разделени за всяко } k$$

$$\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \dots \cup \Omega_K \subseteq \{1, 2, \dots, N\}$$

$$R_1 : R_2 : \dots : R_K = \gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_K$$

Където Ω_k е набора от субканални за потребител k и Ω_k и Ω_l са взаимно изключващи когато $k \neq l$.

Оптимизационния проблем в (4.5) е еквивалентен на намиране на максималното от следващите функции:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{k=1}^K \sum_{n \in \Omega_k} \frac{1}{N} \log_2 (1 + p_{k,n} H_{k,n}) + \lambda_1 \left(\sum_{k=1}^K \sum_{n \in \Omega_k} p_{k,n} - P_{total} \right) \\ & + \sum_{k=2}^K \lambda_k \left(\sum_{n \in \Omega_1} \frac{1}{N} \log_2 (1 + p_{1,n} H_{1,n}) - \frac{\gamma_1}{\gamma_k} \sum_{n \in \Omega_k} \frac{1}{N} \log_2 (1 + p_{k,n} H_{k,n}) \right) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Където $\{\lambda_i\}_{i=1}^K$ са множества на Лагранж (Lagrangian). След диференцирането (4.6) в отношение с $p_{k,n}$ и определяне на всеки дериват към 0 може да се достигне до:

$$\frac{\partial L}{\partial p_{1,n}} = \frac{1}{N \ln 2} \frac{H_{1,n}}{1 + H_{1,n} p_{1,n}} + \lambda_1 + \sum_{k=2}^K \lambda_k \frac{1}{N \ln 2} \frac{H_{1,n}}{1 + H_{1,n} p_{1,n}} = 0 \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial L}{\partial p_{k,n}} = \frac{1}{N \ln 2} \frac{H_{k,n}}{1 + H_{k,n} p_{k,n}} + \lambda_1 - \lambda_k \frac{\gamma_1}{\gamma_k} \frac{1}{N \ln 2} \frac{H_{k,n}}{1 + H_{k,n} p_{k,n}} = 0 \quad (4.8)$$

Дистрибуция на мощност за един потребител k - от двете 4.7. и 4.8 може да се постигне :

$$\frac{H_{k,m}}{1 + H_{k,m} P_{k,m}} = \frac{H_{k,n}}{1 + H_{k,n} P_{k,n}} \quad (4.9)$$

За $m, n \in \Omega_k$ и $k = 1, 2, \dots, K$. Без загуба на общото N предполагам, че $H_{k,1} \leq H_{k,2} \leq \dots \leq H_{k,N_k}$ за $k = 1, 2, \dots, K$ и N_k е брой на субканалите в Ω_k . От тук 4.9 може да бъде записано като

$$P_{k,n} = P_{k,1} + \frac{H_{k,n} - H_{k,1}}{H_{k,n} H_{k,1}} \quad (4.10)$$

За $n = 1, 2, \dots, N_k$ и $k = 1, 2, \dots, K$. Уравнение 4.10 показва разпределението на мощността за един потребител k в субканал n . Повече мощност ще бъде отделена в субканалите с по-високо съотношение канал-шум. Това е т.нар water-filling алгоритъм в честотния домейн.

Дефинирайки $P_{k,tot}$ като пълно мощностно разпределение за потребител k и използвайки 4.10 $P_{k,tot}$ може да се изрази като:

$$P_{k,tot} = \sum_{n=1}^{N_k} P_{k,n} = N_k P_{k,1} + \sum_{n=2}^{N_k} \frac{H_{k,n} - H_{k,1}}{H_{k,n} H_{k,1}} \quad (4.11)$$

За $k = 1, 2, \dots, K$

С формули 4.9 и 4.11 ограниченията в капацитетно отношение могат да бъдат изразени като:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\gamma_1} \cdot \frac{N_1}{N} \left(\log_2 \left(1 + H_{1,1} \frac{P_{1,tot} - V_1}{N_1} \right) + \log_2 W_1 \right) \\ & = \frac{1}{\gamma_k} \cdot \frac{N_k}{N} \left(\log_2 \left(1 + H_{k,1} \frac{P_{k,tot} - V_k}{N_k} \right) + \log_2 W_k \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

За $k = 2, 3, \dots, K$ където V_k и W_k са дефинирани като

$$V_k = \sum_{n=2}^{N_k} \frac{H_{k,n} - H_{k,1}}{H_{k,n} H_{k,1}} \quad (4.13)$$

и

$$W_k = \left(\prod_{n=2}^{N_k} \frac{H_{k,n}}{H_{k,1}} \right) \quad (4.14)$$

За $k = 1, 2, \dots, K$

Добавяме ограниченията в капацитетно отношение

$$\sum_{k=1}^K P_{k,tot} = P_{total} \quad (4.15)$$

Където K променливите $\{P_{k,tot}\}_{k=1}^K$ в набора от K уравнения в 4.12. и 4.15. Решаването на набора от функции доставя схема за оптимално разпределение на мощността. Уравненията в общия случай са нелинейни. Повтарящите се методи, такива като на Нютън-Рафсон или Куази-Нютън, може да се използват, за да се намери решение в определено количество от изчислителен метод. В метода на Нютън-Рафсон изчислителната сложност основно идва от всяка повторяемост показана като $O(K)$. При определени условия оптималното или близко до оптималното решение е да се избере набор нелинейни уравнения намерени в една повторяемост. Два специални случая се анализират:

- Линеен случай

Ако $N_1: N_2: \dots: N_K = \gamma_1: \gamma_2: \dots: \gamma_K$, то набора от уравнения (4.12) и (4.15) може да бъде трансформиран в набор от линейни уравнения като следват:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & a_{2,2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 0 & \dots & a_{K,K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{1,tot} \\ P_{2,tot} \\ \vdots \\ P_{K,tot} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{total} \\ b_2 \\ \vdots \\ b_K \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Където

$$a_{k,k} = -\frac{N_1 H_{k,1} W_k}{N_k H_{1,1} W_1} \quad (4.17)$$

$$b_k = \frac{N_1}{H_{1,1} W_1} (W_k - W_1 + \frac{H_{1,1} V_1 W_1}{N_1} - \frac{H_{k,1} V_k W_k}{N_k}) \quad (4.18)$$

За $k=2,3,\dots,K$. Матрицата от $\{a_{i,j}\}_{i=2}^K$ в (4.16) има само ненулеви елементи на първия ред, първа колона и основният диагонал. Като направим заместване решението в (4.16) може да бъде постигнато с оптимална изчислителна сложност на $O(K)$.

- Случай на отношение канал - шум

В адаптивната модулация рядко се случват линейни условия и набора от уравнения остава нелинеен, което изисква значително повече изчисления, за да бъде решен. Ако отношението канал - шум е голямо могат да бъдат направени еквилибристики, за да се намали трудността на проблема.

Първо се взема предвид (4.13), в което V_k може да бъде достатъчно малко сравнено с $P_{k,tot}$ ако отношението на канал - шум е високо. Така първото изравнение е $V_k = 0$.

Второ, приемаме че базовата станция може да достави голяма мощност и отношението канал - шум е високо и в случай $H_{k,1} P_{k,tot} / N_k$ много по-голямо от 1.

С уточненията 4.12 може да бъде оформено и много улеснено, както следва:

$$\left(\frac{H_{1,1} W_1}{N_1} \right)^{\frac{N_1}{\gamma_1}} (P_{1,tot})^{\frac{N_1}{\gamma_1}} = \left(\frac{H_{k,1} W_k}{N_k} \right)^{\frac{N_k}{\gamma_k}} (P_{k,tot})^{\frac{N_k}{\gamma_k}} \quad (4.19)$$

Където $k=2,3,\dots,K$.

Замествайки (4.19) в (4.15) може да бъде представено едно уравнение променлива $P_{k,tot}$:

$$\sum_{k=1}^K c_k (P_{1,tot})^{d_k} - P_{total} = 0 \quad (4.20)$$

Където

$$c_k = \begin{cases} 1 & \text{if } k = 1 \\ \frac{\left(\frac{H_{1,1} W_1}{N_1} \right)^{\frac{N_1 \gamma_k}{\gamma_1}}}{\frac{H_{k,1} W_k}{N_k}} & \text{if } k = 2, 3, \dots, K \end{cases} \quad (4.21)$$

И

$$d_k = \begin{cases} 1 & \text{if } k = 1 \\ \frac{N_1 \gamma_k}{N_k \gamma_1} & \text{if } k = 2, 3, \dots, K. \end{cases} \quad (4.22)$$

Може да бъдат приложени цифрови алгоритми, такива като Нютоновият метод за намиране на корена или метода на грешната позиция, за да се намери нулата в (4.20).

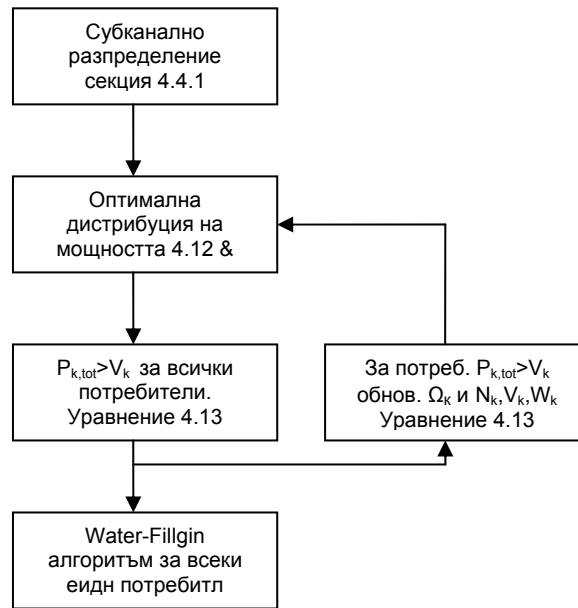
Решение за разпределение на мощността за един потребител

За определен потребител k има нужда от разпределение на мощността ако $V_k > P_{k;\text{tot}}$. Тази ситуация може да се случи, когато един субканал е разпределен на потребител, който няма висока производителност в този субканал. "Water-filling" алгоритъмът по-скоро ще спре да използва този субканал. В такъв случай набора от Ω_k , както кореспондиращите стойности на N_k , V_k и W_k , трябва да се обновят и алгоритъмът за мощността трябва да се стартира отново, както е показано във фигура 4.4.

Решение за разпределение на мощността за повече от един потребител

В случай, че отношението канал-шум е високо, то има само едно решение на (4.20), тъй като всеки елемент в събирането монотонно се увеличава и (4.20) постига различни резултати в $P_{1;\text{tot}} = 0$ и $P_{1;\text{tot}} = P_{\text{total}}$. Числен алгоритъм също може да се използва за решаване на (4.20)

Фигура 4.4 представя графично предложеният алгоритъм за разпределение на ресурсите:



Комплекси анализи

Най-добрата схема за разпределение на субканалите може да бъде намерена чрез интензивно търсене т.е. за всяко разпределение на субканалите, би отговарял алгоритъм за оптималното мощностно разпределение показано на Фиг. 4.4, който има изчислителната комплексност на $O(K)$. Субканалното разпределение, което дава най-високият сумарен капацитет се приема за оптималният вариант. В K -потребителска N -субканална система, е недопустимо намирането на глобална оптимална, тъй като са възможни KN субканални разпределения. Сложността на предложения алгоритъм се състои от две части: субканално разпределение със сложност $O(KN)$ и разпределение на мощността от $O(K)$. Поради сложността си предложеният метод е приблизително в реда на KN пъти по-ниска от тази на оптималният, защото мощностното разпределение е изпълнено само веднъж. Предложеният метод е описан от Фиг. 4.4.

2.4 Сравнение на техники за ресурсно разпределение и сумарен капацитет за даден набор от канали

В тази секция, сравнявам сумарния капацитет, постигнат от блоковата диагонализация (BD), без селекция на приемаща антена със сумарният капацитет постигнат от dirty paper кодирането. В BD сумарният капацитет се определя въз основа на water-filling алгоритъм, т.е. $R_j = \ln r_j$ за всички планирани потребители. С това предположение, всеки потребител се възползва от всички N_r приемащи антени при условие, че той е насрочен за предаване. Симулационните резултати показват, че сумарния капацитет на BD, без селекция за приемаща антена е много близък до този със селекция за приемаща антена в лъчево-затихващи канали.

Определяме даден набор от канални реализации за многопотребителска безжична система, където с H_j означаваме канал за потребителя j . С $K = \{1, 2, \dots, K\}$ означаваме множеството на потребителските индекси. Предполага се, че

всички потребителски набори са подредени и $A_i \in K$ бъде i -тия поряд в набора. С $\bar{H}_j = H_j T_j$ се означава ефективният канал след прекодирането за потребител $j \in A_i$. Тогава общата производителност постигната с BD приложена за определен потребителски набор A_i с обща мощност P може да бъде представена като:

$$C_{BD|A_i}(\mathbf{H}_{A_i}, P, \sigma^2) = \max_{\{Q_j: Q_j \geq 0, \sum_{j \in A_i} \text{Tr}(Q_j) \leq P\}} \sum_{j \in A_i} \log \left| \mathbf{I} + \frac{1}{\sigma^2} \bar{H}_j Q_j \bar{H}_j^* \right| \quad (4.33)$$

където $Q_j = E[x_j x_j^*]$ е потребителската j въвеждаща ковариационна матрица с размер $N_j \times N_j$. Нека A е набора съдържащ всички възможни потребителски набори, т.е. $A = \{A_1, A_2, \dots\}$. Сумарният капацитет на BD се определя като обща максимална производителност на BD, както следва:

$$C_{BD}(\mathbf{H}_{1, \dots, K}, P, \sigma^2) = \max_{A_i \in A} C_{BD|A_i}(\mathbf{H}_{A_i}, P, \sigma^2). \quad (4.34)$$

Доказано е, че сумарният капацитет на многопотребителски Гаусов разпръсквателен канал се постига с dirty paper кодиране (DPC). В резултатите с DPC сумарният капацитет може да бъде изразен като:

$$C_{DPC}(\mathbf{H}_{1, \dots, K}, P, \sigma^2) = \max_{\{S_j: S_j \geq 0, \sum_{j=1}^K \text{Tr}(S_j) \leq P\}} \log \left| \mathbf{I} + \frac{1}{\sigma^2} \sum_{j=1}^K \mathbf{H}_j^* S_j \mathbf{H}_j \right| \quad (4.35)$$

където S_j като големина $N_r \times N_r$ е сигнална ковариантна матрица за потребител j в двойния множествен достъп до канала.

В тази секция, съм заинтересован и разглеждам усилването при DPC спрямо BD по отношение на сумарният капацитет. Аналогично определям съотношението на DPC към BD, като:

$$G(\mathbf{H}_{1, \dots, K}, P, \sigma^2) \triangleq \frac{C_{DPC}(\mathbf{H}_{1, \dots, K}, P, \sigma^2)}{C_{BD}(\mathbf{H}_{1, \dots, K}, P, \sigma^2)}. \quad (4.36)$$

Ползата (усилването) очевидно е зависима от каналните реализации $\{H_k\}_{k=1}^K$, общата мощност и дисперсията на шума.

BD по отношение на DPC: Ергодичен сумарен капацитет в лъчево-затихващи канали

В тази секция симулирам и анализирам ергодичния капацитет на многопотребителска безжична система в лъчево-затихващи канали за блокова диагонализация, без селекция за приемаща антена спрямо DPC. Нека $\bar{H}_j = H_j T_j$ е еквивалентният канал за потребител j , след предкодиране. Предполага се, че

$\{H_j\}_{j=1}^K$ са статистически независими и за различните j елементи в H_j са сложни Гаусови произволни променливи.

По-малка връзка на ергодичния сумарен капацитет с BD

Нека $A_i = \{1; 2; \dots; i\}$ бъдат набора на първите i потребители, за $i=1,2,\dots,I$

където $I = \min\left\{K, \left\lceil \frac{N_t}{N_r} \right\rceil\right\}$. Забелязва се, че за $i = \min\left\{K, \left\lceil \frac{N_t}{N_r} \right\rceil\right\}$, когато елементите в $\{H\}_{k=1}^K$ са генерирани в съответствие с дистрибуция на Гаусов комплекс, по-ниската обвързаност на ергодичния сумарен капацитет с BD може да бъде представена като:

$$E [C_{BD}(\mathbf{H}_{A_i}, P, \sigma^2)] \stackrel{(a)}{\geq} E \left[\sum_{j=1}^i \log \left| I + \frac{1}{\sigma^2} \bar{\mathbf{H}}_j \mathbf{Q}_j \bar{\mathbf{H}}_j^* \right| \right] \quad (4.46)$$

$$= \sum_{j=1}^i E \left[\sum_{n=1}^{N_r} \log \left| 1 + \frac{P_{j,n}}{\sigma^2} \bar{\lambda}_{j,n}^2 \right| \right] \quad (4.47)$$

$$\stackrel{(b)}{\geq} \sum_{j=1}^i E \left[\sum_{n=1}^{N_r} \log \left| 1 + \frac{P}{i N_r \sigma^2} \bar{\lambda}_{j,n}^2 \right| \right] \quad (4.48)$$

$$= \sum_{j=1}^i N_r E \left[\log \left| 1 + \frac{P}{i N_r \sigma^2} \bar{\lambda}_{j,1}^2 \right| \right] \quad (4.49)$$

$$\stackrel{(c)}{=} i N_r E \left[\log \left| 1 + \frac{P}{i N_r \sigma^2} \bar{\lambda}_{i,1}^2 \right| \right] \quad (4.50)$$

$$\triangleq \bar{C}_{BD}(\mathbf{H}_{A_i}, P, \sigma^2) \quad (4.51)$$

където $\bar{\lambda}_{j,n}^2$ са n -тите неопоменани стойности $\bar{\mathbf{H}}_j \bar{\mathbf{H}}_j^*$ и $\bar{\mathbf{H}}_j$ е размера $N_r(N_t - (i - 1)N_r)$. Неравенство (а) издържа, защото в дясната страна на (4.46) се приема, че всички i потребители едновременно предават за всички канални реализации. Неравенство (b) издържа, защото в дясната страна на (4.48) се приема, че равна мощност се разпределя на всеки не-нулев "eigenmode". Равенство (c) издържа, защото $\bar{\lambda}_{j,1}^2$ има същото разпределение за $j=1,2,\dots,i$.

Горна граница на ергодическия сумарен капацитет на DPC

Известно е, че сумарния капацитет на излъчващия канал от потребител K с DPC е ограничен отгоре, ако приемниците могат да си сътрудничат. Нека $H = [H_1^T H_2^T \dots H_K^T]^T$ и $N = \max\{N_t, KN_r\}$ и $M = \min\{N_t, KN_r\}$, тогава

$$E [C_{DPC}(\mathbf{H}_{1,\dots,K}, P, \sigma^2)] \leq E \left[\log \left| \mathbf{I} + \frac{1}{\sigma^2} \mathbf{H} \mathbf{Q} \mathbf{H}^* \right| \right] \quad (4.56)$$

$$= \sum_{m=1}^M E \left[\log \left(1 + \frac{P_m}{\sigma^2} \lambda_m^2 \right) \right] \quad (4.57)$$

$$= M E \left[\log \left(1 + \frac{P_1}{\sigma^2} \alpha_1 \right) \right] \quad (4.58)$$

$$\leq M \int_{\sigma^2/\Gamma_0}^{\infty} \log \left(\frac{\Gamma_0 \alpha_1}{\sigma^2} \right) p_{N,M}(\alpha_1) d\alpha_1 \quad (4.59)$$

$$\triangleq \bar{C}_{coop}(\mathbf{H}_{1,\dots,K}, P, \sigma^2) \quad (4.60)$$

където λ_m^2 е m-тата неопределена стойност на $\mathbf{H}^* \mathbf{H}$ и $\alpha_1 \stackrel{\Delta}{=} \lambda_1^2$; $p_{n,m}(\alpha_1)$ е разпределението за α_1 с N_r и N_t респективно заменено с M и N . Параметърът Γ_0 е оптимизиран, така че ергодическият сумарен капацитет е максимизиран с органична средна мощност.

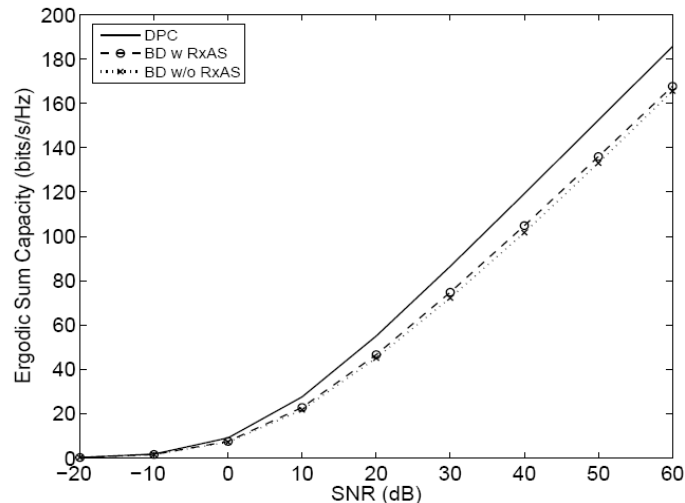
Горна граница на ергодически капацитет на DPC срещу BD

От горните две секции, горната граница на ползата от ергодическия сумарен капацитет на DPC над BD може да бъде получена като:

$$\frac{E [C_{DPC}(\mathbf{H}_{1,\dots,K}, P, \sigma^2)]}{E [C_{BD}(\mathbf{H}_{1,\dots,K}, P, \sigma^2)]} \leq \frac{\bar{C}_{coop}(\mathbf{H}_{1,\dots,K}, P, \sigma^2)}{\max_{i \in \{1,2,\dots,I\}} \bar{C}_{BD}(\mathbf{H}_{A_i}, P, \sigma^2)} \quad (4.61)$$

Обърнете внимание, че горната граница в (4.61) е функция на N_t , N_r , K , P и σ^2 .

Освен това, $\min \left\{ K, \left\lceil \frac{N_t}{N_r} \right\rceil \right\} + 1$ числените интеграции са необходими за оценка на границата в (4.61). Ограничението на границата е показано в раздела с числени резултати.



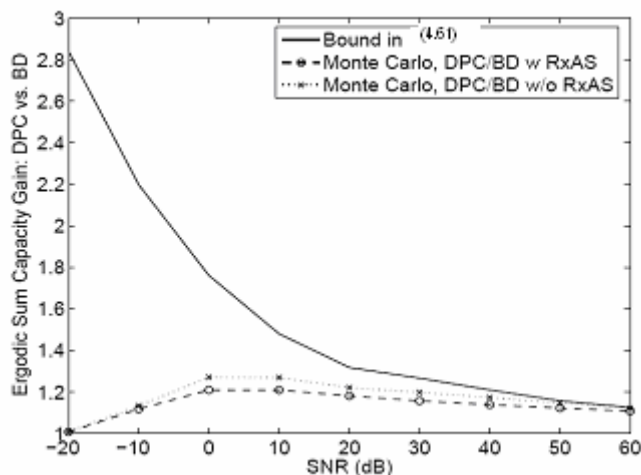
Фиг. 4.11 Ергодически сумарен капацитет на DPC спрямо BD по лъчево-затихващи канали; $H_t = 10$, $N_r = 2$, $K = 5$.

Числени резултати

В тази секция представям някои числени демонстрации на усилването чрез DPC спрямо това с BD. Сравнявам сумарният капацитет, постигнат от:

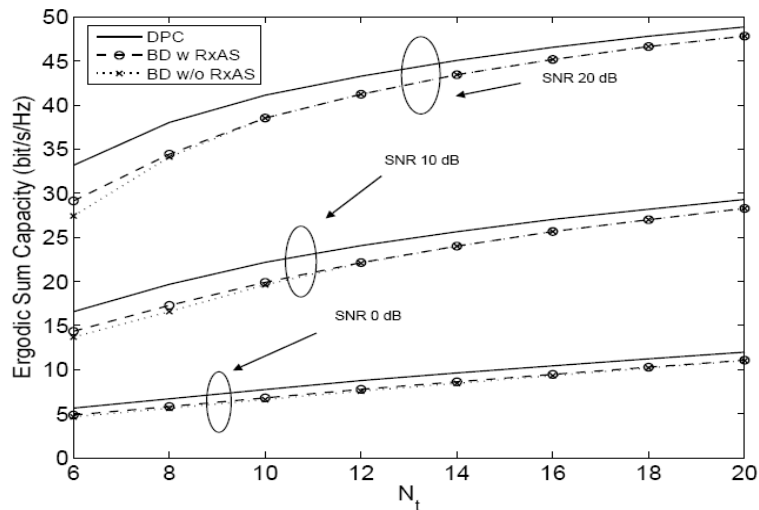
- DPC осъществен с повтарящ се water-filling алгоритъм
- блокова диагонализация със селективна приемаща антена (BD с RxAS)
- блокова диагонализация без селективна приемаща антена (BD без RxAS).

Представям ергодичният сумарен капацитет на DPC и BD от „Монте Карло“ симулации и сравнявам усилването с границата от (4.61) за различните параметри на системата. В лъчево-затихващи канали BD в повечето случаи постига значителна част от сумарният капацитет на DPC.



Фиг. 4.12 Усилване на ергодическия капацитет от DPC спрямо BD в лъчево-затихващи канали; $N_t = 10$, $N_r = 2$, $K = 5$.

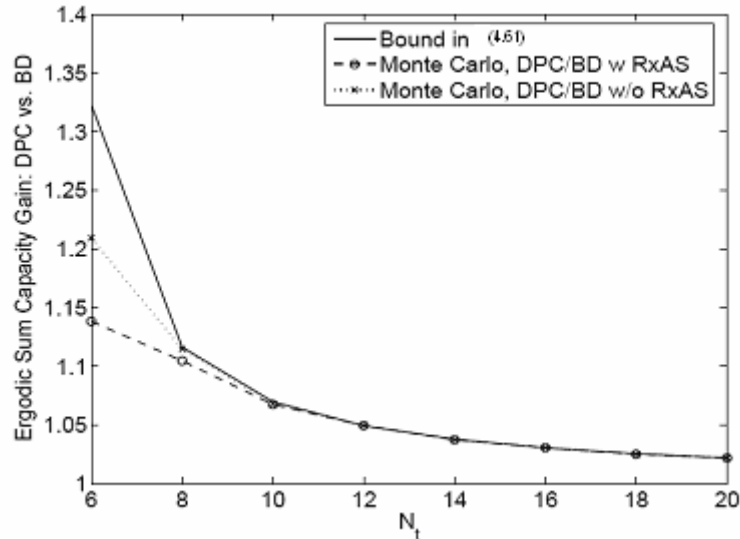
Фиг. 4.11 показва ергодическия сумарен капацитет на DPC срещу BD при различни SNRs, с $N_t = 10$, $N_r = 2$, and $K = 5$. В нисък SNR режим, BD постига почти същата сума на капацитета, както DPC. Както SNR клони към безкрайност, сумарния капацитет на двете DPC и BD се увеличава със същото клонене. Съотношението на сумарния капацитет на BD и DPC клони асимптотично 1 в слаб и силен SNR режими. Фиг. 4.12 показва ползата на DPC над BD от кривите на Фиг. 4.11, както границата на ползата, оценена в (4.61). Тъй като SNR се увеличава границата от (4.61) става по-стегната. За ниско SNR, границата в (4.61) губи главно, защото 1) по-ниската граница на BD приема еднакво разпределение на мощност за всички не-нулеви стойности; 2) горната граница на DPC също се губи в ниските SNR. Границата в ниските SNR режими обаче е по-малко интересна, защото вече е доказана.



Фиг. 4.13 Ергодически сумарен капацитет на DPC срещу BD по лъчево-затихващи канали. $N_r = 2$, $K = 3$.

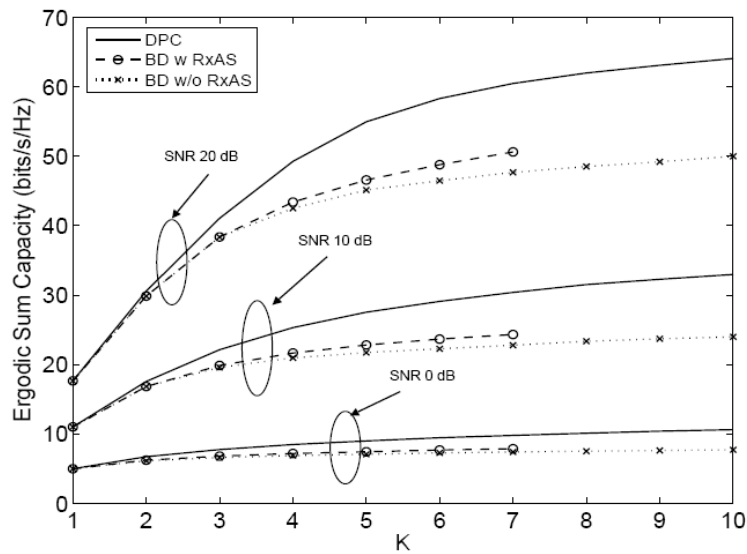
Фиг. 4.13 показва ергодически сумарен капацитет на DPC спрямо BD за различни N_t , с $N_r = 2$ и $K = 3$. С нарастване броят на предаващите антени, сумарния капацитет на BD се доближава до сумарния капацитет на DPC.

Фиг. 4.14 показва ергодическият сумарен капацитет на DPC спрямо BD за различен брой потребители, с $N_t = 10$ and $N_r = 2$. За малък брой потребители BD постига почти същия сумарен капацитет, както DPC. С увеличаване броят на потребителите DPC показва по-голяма ефективност от BD.



Фиг. 4.14 Полза от ергодическия сумарен капацитет от DPC над BD в лъчево-затихващи канали. $N_r = 2$, $K = 3$, $SNR = 20$ dB

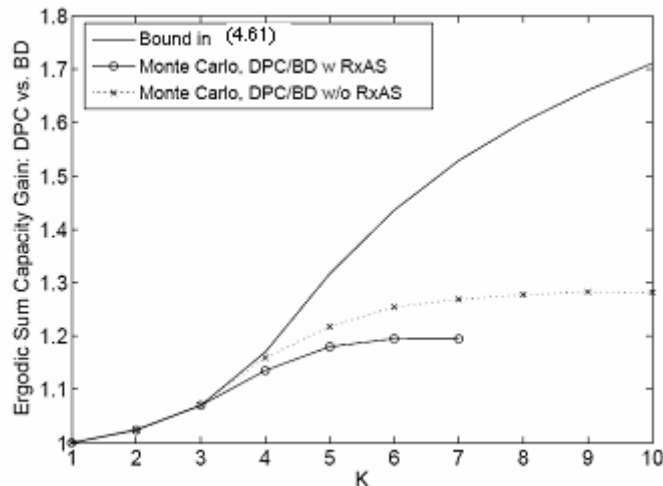
Забелязва се, че в рамките на симулациите BD със селекция на приемаща антена (RxAS) постига по-висок сумарен капацитет от BD без селекция за приемаща антена. От друга страна, за да се намерят оптималните потребители / или преимащи антени за сумарния капацитет, търсенето за BD с RxAS, е много по-високо в сравнение с BD без RxAS.



Фиг. 14 Ергодически сумарен капацитет на DPC спрямо BD в лъчево-затихващи канали. $N_t = 10$, $N_r = 2$.

С гореизложените симулации сравнявам възможностите на BD със и без селекция на приемаща антена с DPC. За постигането на определен набор от канални реализации, ползата от сумарния капацитет на DPC над BD общо може да бъде в границата от $\min\{N_t; K\}$, където N_t и K е броят на предаващите антени и броят на потребителите. Ползата може да бъде обобщена в два специални

случаи: 1) ако потребителските канали са ортогонални един към друг, то BD постига една и съща сума с капацитета от DPC; 2) ако потребителските канали са в едно и също векторно пространство, ползата може да бъде сведена до $\min\{N_r; K\}$ където N_r е броят на приемащите антени на всеки потребител с $N_r < N_T$. Ползата от ергодическият сумарен капацитет на DPC над BD също е изследвана в лъчево-затихващ канал. Симулациите показват, че BD може да постигне значителна част от общата пробивност на DPC.



Фиг. 15 Усилване от ергодически сумарен капацитет от DPC спрямо BD в лъчево-затихващи канали. $N_t = 10$, $N_r = 2$, $SNR = 20$ dB.

Границата е много стегната за среден до висок SNR или когато $K \leq \left\lceil \frac{N_r}{N_r} \right\rceil$, което е полезно при оценяване колко далеч е BD от оптимума от гледна точка на ергодическия сумарния капацитет.

2.5 Алгоритми с ниска сложност за потребителска селекция при многопотребителски безжични системи.

Оптимизиране на ресурсното разпределение чрез метода на блокова диагонализация

Блоковата диагонализация е практически предкодираща техника за многопотребителски безжични MIMO системи. С блоковата диагонализация (BD) всеки потребителски сигнал е усилен с предкодираща матрица преди предаването. Всяка потребителска предкодираща матрица е ограничена да бъде в нулевото пространство за всички останали потребителски канали. Следователно, ако каналните вероятности на всички потребители са напълно известни на предавателя, всеки потребител ще има канал без интерференция.

Поради условието наложено от факта, че пркодиращата матрица на всеки потребител трябва да лежи в нулевото пространство на всички останали потребителски канали, броят на потребителите, които могат да бъдат поддържани едновременно с BD е ограничен от броя на предаващите антени, броят на приемащите антени, както и "богатството" на каналите. За системи с голям брой потребители, подмножеството на потребителите може да бъде избрано за нарастване на общия поток (дефиниран като общ капацитет без грешки). В тази част от изследването е разгледана тезата, че всеки потребител използва всичките си приемачи антени. Методът на "Brute-force" търсене измежду всички възможни потребителски набори гарантира, че общата производителност е максимизирана. Комплексността, обаче е недопустима, ако броят на потребителите в системата е много голям. Така например, ако \hat{K} е максималният брой на потребителите, които могат да бъдат едновременно поддържани от BD и K е общият брой на потребителите, след това пълното търсене на оптималния потребителски набор е комбинаторна комплексност, защото всеки i ($1 < i < \hat{K}$) от K потребителите трябва да се търси.

Алгоритъм за избора на потребители за многопотребителски MISO (Multiple Input Single Output) системи е предложен в изследвания на IEEE, където потребителите са оборудвани с една приемаща антена и нулево лъче - формиране се извършва по предавателя, което е еквивалентно на BD. Алгоритъмът изгражда набор от полу - ортогонални потребители, чиято обща производителност е близка до сумарния капацитет, постигнат от конкурентна кодираща техника - DPC (Dirty Paper Coding). Аналогичен на проблема с потребителската селекция, където приемника и предавателя избира подмножество антени, за да предава и приема сигнали т.е. е предложен алгоритъм за селекция на антена с ниска комплексност, което постига почти същите възможности като капацитет, както е и при оптималния селективен метод. Изборът на антена също се взема под внимание в многопотребителските безжични системи с BD, където е показано, че значителна редукция в символната грешка може да бъде постигнато дори и с една екстра предаваща антена. Пространственото разделяне с множествен достъп (SDMA) с график за мултимедийни услуги, е проучен от IEEE. Показано е, че забавящите характеристики в системата, могат да бъдат подобрени чрез планиране на потребителите с почти ортогонална пространствена сигнатура във всеки времеви слот.

В тази част от изследването, предлагам два оптимални алгоритъма за потребителски подбор чрез блокова диагонализация, с цел оптимизиране на общата производителност, докато се поддържа ниска комплексност. И двата алгоритъма повтарят потребителската селекция, докато максималният брой на едновременно поддържаните потребители бъде достигнат. Първият алгоритъм за селекция на потребители увеличава многократно общата производителност. Във всяка стъпка, алгоритъмът избира такива потребители, които предлагат максимална производителност, заедно с тези които вече са избрани. Докато първият алгоритъм налага чести единични стойности за разлагане (SVD) на каналните матрици, вторият предложен алгоритъм избира потребители въз

основа на енергийните канали, като по този начин намалява изчислителната сложност. В анализа доказвам, че предложените алгоритми могат да постигнат около 95% от общата производителност на потребителския набор, както че и сложността на предложените алгоритми е линейна в общия брой на потребителите K .

Системният модел и BD алгоритъмът бе представен в предходните части на изследването. В многопотребителска безжична система с K потребители, означавам броя на предаващите антени в базовата станция N_t , както и броя на приемащите антени за j -тия потребител, като N_r, j . В останалата част на тази секция, се приема, че всеки потребител е използвал същия брой приемащи антени, т.е. $N_r; j = N_r$ за $j = 1, 2, \dots, K$ за простота, където K е общият брой на потребителите в системата. С предположението, че всеки елемент в матрицата на потребителския MIMO канал H_j се генерира от дистрибуцията на Гаусовия комплекс, може да се заключи, че максималният брой на едновременни

потребители е $\left\lceil \frac{N_t}{N_r} \right\rceil$ където $\lceil \cdot \rceil$ е таванът на операцията.

Алгоритми с ниска сложност за потребителски подбор

В тази част от изследването е представена идеята, че сумарният капацитет (т.е. общата максимална производителност) на блоковата диагонализация се повтаря. Два субоптимални алгоритъма за потребителски подбор са предложени, за да се намали сложността за намиране на оптимален потребител в набора.

Взимаме набор от канали $\{H_j\}_{j=1}^K$ за многопотребителска безжична MIMO система. Нека с $K = \{1; 2; \dots; K\}$ означим множеството на всички потребители и A_i да е подмножество на K . Нека с $H_j = H_j T_j$ означим ефективните канали след предкодиране за потребителя $j \in A_i$, след което общата производителност, постигната с BD, се прилага за определен потребителски набор A_i с обща мощност P , което като цяло може да бъде изразено така:

$$C_{BD|A_i}(H_{A_i}, P, \sigma^2) = \max_{\{Q_j: Q_j \geq 0, \sum_{j \in A_i} \text{Tr}(Q_j) \leq P\}} \sum_{j \in A_i} \log \left| \mathbf{I} + \frac{1}{\sigma^2} \bar{H}_j Q_j \bar{H}_j^* \right| \quad (4.62)$$

Забелязва се, че решението на дясната страна на уравнението в (4.62) може да бъде получено от "water-filling" алгоритъма над стойности на $\{\bar{H}_j \bar{H}_j^*\}_{j \in A_i}$ с обща мощност P , както бе обсъждано по-напред в дисертацията.

Нека A е набора съдържащ всички възможни, т.е. A_i , т.е. $A = \{A_1; A_2; \dots\}$, тогава сумарният капацитет (максималната обща производителност) с DB може да се определи като

$$C_{BD}(\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2, \dots, \mathbf{H}_K, P, \sigma^2) = \max_{A_i \in A} C_{BD|A_i}(\mathbf{H}_{A_i}, P, \sigma^2). \quad (4.63)$$

Означаваме с $\hat{K} = \left[\frac{N_t}{N_r} \right]$ максималния брой едновременни потребители, както и кардиналността на A като $|A| = \sum_{i=1}^{\hat{K}} k C_i$, където с nC_m е означена комбинацията от n избиращо m . От тук става ясно, че едно brute-force търсене за A е недопустимо ако $K \gg \hat{K}$.

Капацитетно базиран субоптимален алгоритъм за подбор на потребители

„Изморителният метод за търсене“ трябва да се разгледа приблизително като $O(K\hat{K})$ възможни потребителски набори. В тази секция, представям субоптимален алгоритъм, чиято сложност е $O(\hat{K}K)$. Нека с s_i , означим потребителя избран в i -тата итерация, т.е. ако $s_i \in \{1, 2, \dots, K\}$ и $1 \leq i \leq \hat{K}$. Нека с Ω означаваме набора от неизбрани потребители и с γ означаваме множеството от избраните потребители.

Алгоритъмът първо избира един потребител с най-голям капацитет. След това от останалите неселектирани потребители намира този, който предоставя най-високата обща производителност. Алгоритъмът се прекратява, когато \hat{K} потребители са избрани или общата производителност пропада. При селекция на повече потребители общата производителност може да се понижи, тъй като размерът на нулевото пространство за всеки потребител намалява, за да отговоря на изискването за нулева вътрепотребителска интерференция). Разбира се, предложеният алгоритъм няма нужда да търси повече в потребителските набори, $(K\hat{K})$, което значително намалява сложността в сравнение с „изтощителния“ метод за търсене. Тъй като критерият за избор на потребители е основан на сумарния капацитет, го наричам – капацитетно-базиран субоптимален алгоритъм за селекция на потребители. Неговата производителност е показана методично нататък в дисертацията.

Frobenius нормо-базиран субоптимален алгоритъм за подбор на потребители

Въпреки, че капацитетно-базираният субоптимален алгоритъм за подбор на потребители значително намалява размера на търсенето в набора, все още може да не бъде рентабилен за изпълнение в реално време, тъй като

единствено стойността на разлагане, която е изчислително интензивна е необходима за всеки потребител във всяка итерация, за да се намери общия поток. В тази секция, аз предлагам друг субоптимален алгоритъм, който се основава на каналната Frobenius-норма. Мотивацията е, че капацитетът е тясно свързан със стойността на ефективния канал след предкодирането. Макар каналната Frobenius норма не може да характеризира капацитетът напълно, тя е свързана с капацитета, защото Frobenius нормата посочва общата енергия на канал, т.е. сумата от стойностите на XX^* равни на $\|H\|_F^2$.

Нека с s_i , да означим потребителски индекс на разглеждане в i -тата итерация, т.е. $s_i \in \{1, 2, \dots, K\}$ и \cdot . Нека с Ω означаваме набора от неизбрани потребители и с γ означаваме множеството от избраните потребители. Нека V_k бъде основа за редовото векторно пространство от основаването на H_k след прилагане на Грам-Шмид ортогонализационната процедура за реда на H_k . Идеята на нормо-базирания алгоритъм за потребителски избор, е да се избере набор от потребителите, така че сумата на енергията на ефективните канали на избраните потребители е колкото може по-голяма. Забележете, че стъпки 1 и 2 в нормо-базирания алгоритъм с SNR са независими. След като \hat{K} потребители са избрани, стъпка 3 прави окончателния избор на потребителя (евентуално подмножество на \hat{K} потребители, избрани от стъпки 1 и 2), с капацитетно базиран алгоритъм, където SNR се взема под внимание. Очевидно е, че нормо-базирания алгоритъм изисква по-малко единични операции на разлагане от капацитетно базирания алгоритъм. Подробна изчислителна сложност, ще бъде анализирана методично по-нататък в дисертацията.

Frobenius нормо-базирани субоптимален алгоритъм за подбор на потребители

Първоначално нека $\Omega = \{1, 2, \dots, K\}$ и $\gamma = \emptyset$. Нека $s_i = \arg \max_{k \in \Omega} \|H_k\|_F^2$. Нека $V = V_{s_i}$. Нека $\Omega = \Omega - \{s_i\}$ и $\gamma = \gamma + \{s_i\}$.

За $i=2: \hat{K}$

За всяко $k \in \Omega$ нека $H_k = H_k - H_k V^* V$. Тогава H_k е нулевото пространство на V за $j=1:i-1$

Нека

$$\hat{H}_{s_j, k} = [H_{s_1}^T \ \dots \ H_{s_{j-1}}^T \ H_{s_{j+1}}^T \ \dots \ H_{s_{i-1}}^T \ H_k^T]^T.$$

Нека $W_{s_j, k}$ е базовия ред за $H_{s_j, k}$ след Грам-Шмит ортогонализацията

За всяко $s \in \gamma$ нека $\tilde{H}_s = H_s - H_s W_{s, k}^* W_{s, k}$. Тогава \tilde{H}_s е в нулевото пространство на $\tilde{H}_{s, k}$. Нека

$$s_i = \arg \max_{k \in \Omega} \left(\sum_{s \in \Upsilon} \|\tilde{\mathbf{H}}_s\|_F^2 + \|\tilde{\mathbf{H}}_k\|_F^2 \right)$$

Нека $\Omega = \Omega - \{s_1\}$ и $\Upsilon = \Upsilon + \{s_1\}$. Прилагаме Грам-Шмит ортогонализацията на $\tilde{\mathbf{H}}_s$ и получаваме $V = [V^T \tilde{V}_{s_i}^T]^T$

Прилагаме капацитетно базирания субоптимален алгоритъм за подбор на потребители до набора Υ и получаваме крайната потребителска селекция и производителност.

Анализ на изчислителния комплекс

Основната мотивация за двата предложени субоптимални алгоритъма е тяхната намалена изчислителна сложност. След квантуване на тяхната сложност може да бъде направено сравнение с brute-force подхода. Сложността се отчита, като броят на флопвания, означен като Ψ . Едно флопване е определено да бъде истинска плаваща точка операция. Едно истинско добавяне, умножаване или разделяне се отчита като един флоп. Респективно комплексното добавяне и умножаване имат два флопа и шест флопа. Въпреки че флоп преброяването не може да характеризира истинската компютърна сложност, то улавя за изчисляване товара, така че е достатъчно за целите на анализа на сложността в тази глава.

Сложност на операциите в Характерна Матрица

За една $m \times n$ матрица с комплексна стойност $H \in \mathbb{C}^{m \times n}$, предоставям флоп броевете на няколко матрични операции, които се използват често в алгоритъма за субоптимален потребителски подбор. Приема се, че $K \gg \hat{K}$, $\hat{K} \ll N_r \sim N_t$ и $m < n$ в този раздел.

- Frobenius нормата $\|H\|_F^2$ отнема $2mn$ реално умножаване и $2mn$ реални допълнения, следователно разчитат на флоп - $4mn$.
- Грам-Шмит ортогонализацията GSO (H) отнема $4m^2n - 2mn$ реално преразмножаване; $4m^2n - 2mn$ реално допълнения; и $2mn$ истинско разделяне. Флоп броевете за GSO е $8m^2n - 2mn$.
- Water-filling над Eig-състоянието може да поеме $1/2(n^2 + 3n)$ реално умножаване; $n^2 + 3n$ реално допълнения; и $1/2(n^2 + 3n)$ реално разделяне. Флоп броевете за Water-filling е $2n^2 + 6n$.

- Във флор броенето за единично разлагане (SVD) на реални стойности $m \times n$ ($m > n$) вероятностите са $4m^2n + 8mn^2 + 9n^3$ [28]. За комплексната стойност $m \times n$ ($m < n$) матрици, на флор броенето е приблизително $24mn^2 + 48m^2n + 54m^3$ третирайки всяка операцията като сложно размножаване.

4.4.2 Субоптимален алгоритъм за потребителски подбор I: капацитетно-базиран подход

1. $i=1$: SVD от H_k има $48N_r^2N_t + 24N_rN_t^2 + 54N_r^3$ флора, water-filling се нуждае $2N_r^2 + 6N_r$ флора и калкулацията за пълната производителност се нуждае от $2N_r$ флора. Стъпка 1 е:

$$K (48N_r^2N_t + 24N_rN_t^2 + 54N_r^3 + 2N_r^2 + 8N_r)$$

2. $i > 2$

За всяко $k \in \Omega$ да се достигне T_k от SVD се нуждае от $48(i-1)^2N_r^2N_t + 24(i-1)N_rN_t^2 + 54(i-1)^3N_r^3$ flops. За да изчисли $\bar{H}_k = H_k T_k$ сложността на тази мултипликация е $8N_tN_r (N_t - (i-1)N_r)$. SVD от \bar{H}_k представя $48N_r^2 (N_t - (i-1)N_r) + 24N_r (N_t - (i-1)N_r)^2 + 54N_r^3$ флора. Water-filling се нуждае от $2iN_r (iN_r + 3)$ флора където цялата производителност има сложност от $2iN_r$

От тук алгоритъмът е:

$$\begin{aligned} \psi_c &\stackrel{(a)}{<} \sum_{i=2}^{\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor} \{ [48i(i-1)^2 + 48i] N_r^2 N_t \\ &+ [24i(i-1) + 32i] N_r N_t^2 + (54i(i-1)^3 + 54i) N_r^3 \\ &+ 2i^2 N_r^2 + 8i N_r \} \times (K - i + 1) \\ &+ K (48N_r^2 N_t + 24N_r N_t^2 + 54N_r^3 + 2N_r^2 + 8N_r) \\ &\approx \mathcal{O} \left(K \left[\frac{N_t}{N_r} \right]^5 N_r^3 \right) \approx \mathcal{O} \left(K \left[\frac{N_t}{N_r} \right]^2 N_t^3 \right), \end{aligned} \quad (4.64)$$

където неравенство в (a) се дължи на горната граница $(N_t - (i-1)N_r)$ от N_t при изчисляването на \bar{H}_k и SVD от \bar{H}_k .

Субоптимален алгоритъм за потребителски подбор II: капацитетно-базиран подход

Всички флопове, от които този алгоритъм за селекция на потребители има нужда са

$$\begin{aligned} \psi_n &\approx \sum_{i=2}^{\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor} \{ [8(i-1)^3 + 18(i-1)^2 + 18(i-1)] N_r^2 N_t + \\ &\quad [2(i-1)^2 + 4(i-1)] N_r N_t \} \times (K - i + 1) + 4K N_r N_t \\ &\approx \mathcal{O} \left(K \left[\frac{N_t}{N_r} \right]^4 N_r^2 N_t \right) \approx \mathcal{O} \left(K \left[\frac{N_t}{N_r} \right]^2 N_t^3 \right). \end{aligned} \quad (4.65)$$

Оптимален алгоритъм за потребителски подбор. Пълно търсене

В оптималния алгоритъм за избор на потребители, базовата станция

провежда изчерпателно търсене чрез $\sum_{i=1}^{\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor} kC_i$ възможните потребители от набора. Сложността на целия алгоритъм може да се представи по следния начин

$$\begin{aligned} \psi_{cs} &\stackrel{(a)}{\geq} K C_{\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor} \left[\left[\left(48 \left(\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor - 1 \right)^2 + 8 \right) N_r^2 N_t + 24 \left(\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor - 1 \right) N_r N_t^2 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \left(54 \left(\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor - 1 \right)^3 + 2 \left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor^2 + 126 \right) N_r^3 + 8 \left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor N_r \right] \right] \\ &\approx \mathcal{O} \left(K C_{\left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor} \left[\frac{N_t}{N_r} \right] N_t^3 \right) \end{aligned} \quad (4.66)$$

където неравенство в (a) издържа, само защото при $\hat{K} = \left\lfloor \frac{N_t}{N_r} \right\rfloor$ от K потребители се счита за опростяване на сложността на анализа.

В обобщение, предложените два субоптимални алгоритъма са само част от сложността на метод за търсене, който е равен на

$$\eta \approx \frac{K \left[\frac{N_t}{N_r} \right]}{K C \left[\frac{N_t}{N_r} \right]}. \quad (4.67)$$

И двата алгоритъма - капацитетно-базираният и Frobenius нормо-базираният, имат линейна сложност с K , защото не повече от \hat{K} K потребителски набора трябва да бъдат претърсвани. Нормо-базираният алгоритъм е малко по-лесен от капацитетно-базираният, защото SVD е по-малко използван.

Използвайки, математическият софтуерен продукт Matlab 7.0, при изпълнението на двата предложени субоптимални алгоритъма, се наблюдава следното:

- че и двата алгоритъма отнемат от някоко десетки до няколко стотици милисекунди (на Pentium M 1,6 GHz PC), за да избере даден потребител от набора.

и

- нормо-базираният алгоритъм е приблизително два пъти по-бърз от капацитетно-базираният алгоритъм за системи с голям брой потребители.

Заклучение

В тази част от изследването е направен анализ и са предложени два оптимални алгоритъма за потребителски подбор при многопотребителски безжични системи с блокова диагонализация. Целта е да се избере подмножество на потребителите, за да максимизира общата производителност, докато сложността се държи ниска. В brute-force метода за търсене се дават оптимални потребителски набори, но сложността е приблизително $O\{K^{\hat{K}}\}$, където K е общият брой на потребителите и \hat{K} е максималният брой на едновременни потребители. Изчисленията и анализите показват, че капацитетно-базираните и нормо-базираните алгоритми за потребителска селекция постигат около 95% от сумарния капацитет, като се има предвид, че тяхната сложност е $O\{K\}$. Въпреки, че предложените алгоритми за потребителски подбор са "алчни" по характер, те могат лесно да се разширят, за да се включи равнопоставеност в системата.

3. Основни изводи и заключения

С нарастване на изискванията за скоростта на предаване при мултимедийните комуникации, адаптивното разпределяне на ресурсите става все по-критична точка при работата на системите. Това е от изключително важно значение при проектирането, внедряването и експлоатирането на хибридна многопотребителска радиосистема за пренос на данни. Множество канали могат да бъдат създавани в честотната или във времевата област чрез използването на модулация на повече от една носеща честота и антена. В сравнение със системите, които използват един единствен канал, разпределянето на ресурсите в система с повече от един потребители и канали е по-голямо предизвикателство, поради допълнителната степен на свобода на ресурсите. В настоящото научно изследване обект на дейността е адаптивното разпределяне на ресурсите в безжични комуникационни системи с повече от един потребители и канали. Адаптивното разпределяне на ресурсите обикновено се формулира като оптимизационен проблем. Оптималното решение обикновено много трудно се постига, поради голям брой причини (променливи). Освен това радиоканалът варира във времето. Поради необходимостта от адаптиране на каналите в реално време за всяко практическо приложение на разпределянето на ресурсите е задължително използването на алгоритми с малка сложност. В тази работа са разгледани алгоритми на разпределяне на ресурсите с малка сложност за OFDM системи и MIMO системи с повече от един потребители.

Приноси елементи към изследването

1. Формиране на оптимизационна рамка за многопотребителски безжични приемо - предавателни системи, в които размяната между общата производителност и равнопоставеността на потребителите може лесно да бъде оценена.
2. Формулиране на оптимизационен проблем за адаптивно разпределение на ресурсите в многопотребителска безжична система.
3. Предложение за оптимален алгоритъм, целящ намаляване на изчислителната сложност чрез отделяне на субканалите и електрическата енергия за разпределение между потребителите.
4. Формулиране на алгоритъм за разпределение на ресурсите, чрез който сумарният капацитет на системата е разпределен доста гъвкаво сред потребителите.
5. Анализирание на методът за блокова диагонализация при MIMO приемо – предавателните безжични системи.
6. Формулиране на два алгоритъма с ниска сложност в многопотребителски безжични системи с блокова диагонализация.
7. Анализирание и сравнение на два субоптимални алгоритъма за потребителски подбор, които имат за цел да изберат подмножество на потребителите, така че общата производителност на системата да е почти максимална.