УДК.621.391.827

Л. И. МЕЛЬНИКОВА

МЕТОД ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ В ГРУППИРОВКЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

Одним из наиболее эффективных методов решения проблемы ЭМС в группировке РЭС является управление мощностями передатчиков. Эта задача исследовалась многими авторами. В работах [1,2,3] предлагается математическая модель централизованного управления, рассматриваются вопросы устойчивости и существования решения. Решаемая задача представляет собой оптимизационную задачу большой размерности, реализация которой затруднена даже на современных ЭВМ. В [4] рассматривается модель децентрализованного адаптивного управления мощностями в коллективе радиостанций, практическая реализация которой предлагается в аналоговом виде. В современных системах сотовой связи стандарта CDMA процесс управления мощностью передатчиков осуществляется путем регулярной (каждые 1.25 мк) оценки вероятности ошибки в каждом направлении и последующего регулирования мощности излучения соответствующей подвижной станции. Такой алгоритм управления уже позволяет во многом минимизировать взаимное влияние и улучшить качество работы группы станций , но не всего комплекса в целом.

Предлагается метод децентрализованного управления мощностями излучения передатчиков в комплексе РЭС связи. Этот метод основан на принципе двухуровневой оптимизации [6]. По сравнению с централизованным [3] предлагаемый метод за счет некоторого увеличения объема вычислений обеспечивает возможность их параллельного выполнения, что может существенно уменьшить время решения задачи и обеспечить управления в комплексах РЭС большой размерности.

При реализации принципа двухуровневой оптимизации на первом уровне решается задача локальной оптимизации для каждой подсистемы с учётом всех возможных её взаимодействий с другими подсистемами и находятся частные решения. На втором уровне частные решения объединяются с целью получения глобального оптимального решения.

Сформулируем задачу локальной оптимизации, которая должна быть согласована с глобальной задачей и, кроме того, все локальные задачи должны быть согласованы между собой. Глобальная задача может быть сформулирована в виде следующей задачи линейного программирования [3]: минимизировать

$$L=\sum_{j=1}^{n} C_j P_j \tag{1}$$

при выполнении ограничений:

$$M^n(\Lambda)\,P=N, \tag{2}$$

где $P=[P_1, P_2, ..., P_n]^T$, $N=[N_1, N_2, ..., N_n]^T$ и

$$M^n(\Lambda)=\begin{vmatrix} \lambda_{1z}\alpha_{11} & -\alpha_{12} & \cdots & \cdots & \cdots & -\alpha_{1n} \\ -\alpha_{21} & \lambda_{2z}\alpha_{22} & \cdots & & \cdots & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \\ -\alpha_{i1} & -\alpha_{i2} & \cdots & \lambda_{iz}\alpha_{ii} & \cdots & -\alpha_{in} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -\alpha_{n1} & -\alpha_{n2} & \cdots & -\alpha_{ni} & \cdots & \lambda_{nz}\alpha_{nn} \end{vmatrix} \tag{3}$$

Здесь P – вектор мощностей излучения передатчиков, минимизирующий общую мощность всех передатчиков группировки (1), N – вектор собственных аддитивных помех каждого из приёмников, $M^n(\Lambda)$ – симметричная матрица, диагональные элементы которой представляют собой произведения заданных отношений (шум / сигнал) на входах приемников λ_{iz} на коэффициенты суммарного ослабления сигнала в канале α_{ii}, все другие элементы – коэффициенты суммарного ослабления сигнала α_{ij} при передаче по каналу от j-го передатчика к i-му приемнику, C_j. - весовой коэффициент, имеющий смысл «стоимости» единицы затрачиваемой мощности j-го элемента. Предполагается, что λ_{iz}, α_{ij}, N_i – заданы, $C_j \geq 0$, $X_{iz} \geq 0$, $N_i \geq 0$, $\alpha_{ij} \geq 0$, $\varepsilon_j \leq P_j \leq \varepsilon_{j2}$, $\varepsilon_{j1} \geq 0$, $\varepsilon_{j2} \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, n$.

ISSN 048—8972. Радиотехника. 2001. Вып. 123.

Воспользуемся методом декомпозиции, предложенным в [4] для задач большой размерности. На первом шаге по всем каналам минимизируется мощность только собственного передатчика при заданном качестве связи на множестве значений мощностей всех других передатчиков при использовании только независимых ограничений. Сформулируем задачу локальной оптимизации, которая вытекает из постановки задачи (1), (2). Для каждого значения $i = 1, 2, \ldots, n$ справедливо равенство :

$$\lambda_{iz}, \alpha_{ii} P_i - \sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n} \alpha_{ij} P_j = N_i \tag{4}$$

Из выражения (4) находим величину мощности передатчика P_i i-го канала передачи

$$P_i = N_i / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}) + \alpha_{i1} P_1 / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}) + \alpha_{i2} P_2 / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}) + \\ + \alpha_{i-1,i} P_{i-1} / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}) + \alpha_{i+1,i} P_{i+1} / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}) + \ldots + \alpha_{in} P_n / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}). \tag{5}$$

Введём обозначения:

$$C_i = N_i / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}),\ C_1 = \alpha_{i1} / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}),\ C_{i-1} = \alpha_{i-1,i} / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}),\\ C_{i+1} = \alpha_{i+1,i} / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}),\ \ldots,\ C_n = \alpha_{in} / (\lambda_{iz}\alpha_{ii}).$$

Тогда выражение (5) примет вид :

$$P_i = C_i + \sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n} C_j P_j,\quad i = 1, 2, \ldots, n;\ j = 1, 2, \ldots, n. \tag{6}$$

Задача локальной оптимизации может быть сформулирована в следующем виде : найти минимальное значение

$$L = P_i = C_i + \sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n} C_j P_j \tag{7}$$

при следующих ограничениях:

$$\varepsilon_j \leq P_j \leq \varepsilon_{j2},\ P_j \geq 0 \tag{8}$$

Глобальная задача имеет решение (существуют конечные мощности P_j) только в том случае , когда все угловые миноры матрицы (3) строго положительны, что накладывает определенные ограничения на величины заданных значений отношения (шум / сигнал) λ_{iz} на входах приемников. Это обстоятельство должно быть учтено при решении локальных задач, поэтому величину λ_{jz} выберем в качестве параметра и определим множество решений локальной задачи при различном качестве связи. Тогда задача (7), (8) будет представлять собой задачу параметрического линейного программирования: минимизировать:

$$L_i = C_i(\lambda_{iz}) + \sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n} C_j(\lambda_{jz}) P_j \tag{9}$$

при ограничениях

$$\varepsilon_j \leq P_j \leq \varepsilon_{j2},\ P_j \geq 0,\ \lambda_{iz} \geq 0. \tag{10}$$

Задача (9), (10) будет иметь множество решений для каждого критического значения $\lambda_{iz\min} \leq \lambda_{iz} \leq \lambda_{iz\max}$ в заданном интервале изменения λ_{iz} [7], т. е. для каждого заданного отношения (шум / сигнал) в i-той линии ($i = 1, \ldots, n$) будет получен вектор значений мощностей излучения $\{P_j\}$ ($j = 1, \ldots, n$, $j \neq i$) всех передатчиков системы при минимальной мощности P_i i-го передатчика.

На втором уровне оптимизации происходит объединение подсистем в систему и проводится оптимизация по всем взаимодействующим переменным, которые являются внутренними для данной составной части системы. Объединение может происходить различными способами, в качестве первой может быть выбрана любая пара. Определим условие объединения двух подсистем, например, S-ой и q-ой, учитывая, что должны получить оптимальное решение для фрагмента из двух подсистем, т. е. решение, минимизирующее значение сразу двух переменных P_s и P_q. Предположим, что при решении локальной задачи для S-го канала связи получено множество решений $D_s = \{X_i^s\}$, $X_i^s = \{P_j\}$, $i = 1, \ldots, r$, $j = 1, \ldots, n$, $j \neq s$, где r – число критических значений величины λ_{iz}. На каждом из решений X_i^s определено оптимальное (минимальное) значение мощности излучения S-го передатчика $L_i^s = P_s(i)$. Обозначим $R_s = \min \{L_i^s\}$. Аналогично получено решение для q-го канала связи $D_q = \{X_i^q\}$, $X_i^q = \{P_j\}$, $i = 1, \ldots, l$, $j = 1, \ldots, n$, $j \neq q$, l равно числу критических значений величины λ_{iz}. На каждом из l наборов значений мощностей P_j, $j \neq q$ получено минимальное значение мощности излучения q-го передатчика $\{L_i^q\}$, $L_i^q = P_q(i)$. Обозначим $R_q = \min \{L_i^q\}$. Тогда очевидно, что в общее решение D_{sq} из первого множества D_s войдут только те решения X_i^s, в которых значения q-той составляющей будут не меньше его минимального значения R_q, т. е. $P_i{}^s{}_q \geq R_q$ $(i = 1, r)$. Из множества D_q в общее решение войдут только те решения X_j^q, S-я компонента которых не меньше R_s, т. е. $P_j{}^q{}_s \geq R_s$, $j = 1, l$. Следовательно, условием объединения двух множеств решений D_s и D_q будет конъюнкция

$$(P_i{}^q{}_s \geq R_s) \wedge (P_j{}^s{}_q \geq R_q), \quad i = 1, \ldots, r; \; j = 1, \ldots, l. \tag{11}$$

Множество решений будет определено как объединение множеств D_s и D_q за исключением решений, которые не удовлетворяют требованию (11), т. е.

$$D_{sq} = (D_s \cup D_q) \setminus D_\mu, \tag{12}$$

где D_μ – множество решений, не удовлетворяющих условиям (11).

Поскольку имеет место предположение, что объединение элементов в систему будет происходить естественным образом, т. е. 1, 2, 3 и т. д., то будет образована последовательность решений D_{12}, $D_{123}, \ldots, D_{123\ldots n}$. Последнее множество и будет представлять собой глобальное решение, хотя в общем случае решение может быть получено и на ранних этапах объединения и не будет изменяться до конца процесса объединения. В любом случае за конечное число шагов n может быть получено оптимальное решение для всех взаимодействующих элементов [6]. На этапе локальной оптимизации находятся «наилучшие», минимальные для данного канала значения мощности , обеспечивающие качестве связи в заданном интервале, а затем на этапе объединения эти значения могут «ухудшаться», т. е. увеличиваться, но до тех пор, пока не будет получено оптимальное решение по всей системе.

Одним из способов объединения подсистем может быть объединение по кольцу: подсистема 1 передаёт значение минимальной мощности подсистеме 2, подсистема 2 объединяет D_1 и D_2 для определения оптимальных значений взаимодействующих переменных P_1^0 и P_2^0 и передаёт системе 1 новое значение мощности P_1^1, затем подсистема 2 передаёт минимальные значения взаимодействующих переменных P_1^1 и P_2^1 в подсистему 3 для объединения и т. д. После окончания цикла объединения каждой подсистеме известно значение мощности её собственного передатчика.

Данный подход к решению задачи управления мощностями передатчиков обеспечивает достаточную гибкость и надёжность управления. Процедура оптимизации легко модифицируется при расширении системы, т. е. добавлении в группировку новых каналов связи. При этом новая подсистема будет присоединяться по выбранному алгоритму к существующей системе. Если же выходит из строя часть системы, то это не является "катастрофой" для всей системы, а оставшиеся подсистемы смогут продолжать процесс оптимизации без учёта вышедших из строя подсистем. Таким образом, предложенный подход к решению указанной задачи управления способен контролировать изменения в структуре группировки. Кроме того, указанный метод за счёт некоторого увеличения объёма вычислений обеспечивает возможность их параллельного выполнения, что может существенно уменьшить время решения задачи.

Список литературы: 1. *Стефанюк В.Л., Цетлин М.Л.*. О регулировке мощностей в коллективе радиостанций. // Проблемы передачи информации. Вып. 4. 1967. 2. *Силин А.В., Козлов С.Е.* Задачи управления мощностями излучения передатчиков с целью обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем в комплексе связи. // Электромагнитная совместимость. Горький, 1978. 3. *Мейров В.* Исследование и оптимизация многосвязных систем управления. М.: Наука, 1986. 4. *Виноградов Е.М. Винокуров В.И., Харченко И.П.* Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Л.: Судостроение,1986. 5. *Громаков Ю.А.* Стандарты и системы подвижной связи. //ТЭК. М:.1996. Т. 67. 6. A Decentraliezed Strategy for Recource Allocation. – Benjamin Friedlander. Transactions on Automatic Controll. IEEE. Feb 1982. Vol. AC – 27, №1. P. 260 - 265.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники *Поступила в редколлегию 02.10.2001*