



$$P(A_2)=\text{Япония}/A_5=\text{Да})=4/9=0,444;$$

$$P(A_2)=\text{Япония}/A_5=\text{Нет})=2/5=0,400;$$

$$P(A_3)=\text{среднее}/A_5=\text{Да})=5/9=0,555;$$

$$P(A_3)=\text{среднее}/A_5=\text{Нет})=3/5=0,600;$$

$$P(A_4)=\text{АКПП}/A_5=\text{Да})=5/9=0,555;$$

$$P(A_4)=\text{АКПП}/A_5=\text{Нет})=2/5=0,400;$$

Расчет условных вероятностей  $P(X/C_i)$  составит:

$$P(X/A_5=\text{Да})=P(A_1=\text{мини}/A_5=\text{Да}) \cdot P(A_2=\text{Япония}/A_5=\text{Да}) \cdot P(A_3=\text{среднее}/A_5=\text{Д}$$

$$\text{а) } \cdot P(A_4=\text{АКПП}/A_5=\text{Да})=0,061;$$

$$P(X/A_5=\text{Нет})=P(A_1=\text{мини}/A_5=\text{Нет}) \cdot P(A_2=\text{Япония}/A_5=\text{Нет}) \cdot$$

$$P(A_3=\text{среднее}/A_5=\text{Нет}) \cdot P(A_4=\text{АКПП}/A_5=\text{Нет})=0,019;$$

$$P(X/C=\text{Да}) \cdot P(C_1)=0,039;$$

$$P(X/C=\text{Нет}) \cdot P(C_2)=0,007.$$

Класс  $C_1$  больше  $C_2$ , следовательно, данную машину Покупатель готов купить.

**Заключение.** С помощью данного метода решается задача бинарной классификации, так как все объекты (машины) делятся на два класса: покупать, не покупать. С помощью рассмотренной методики можно проводить классификацию для решения самых различных задач: выделение пожароопасных участков в лесных массивах, экологический мониторинг, отнесение сообщений в интернете в разряд «спам», выделение дорог низкого качества и многое другое.

### Литература

1. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP/ А.А.Барсегян, М.С.Куприянов, В.В.Степаненко, И.И.Холод. СПб.:БХВ-Петербург, 2008. – 384 с.

2. [www.pushcar.ru/poleznoe/klassi\\_auto.htm](http://www.pushcar.ru/poleznoe/klassi_auto.htm)

3. Ризаев И.С. Интеллектуальный анализ данных для поддержки принятия решений. / И.С.Ризаев, Я.Рахал. – Казань: Изд-во МОиН РТ, 2011. - 172 с.

4. Ризаев И.С., Осипова А.Л. Компьютерные технологии при решении задач классификации. / И.С.Ризаев, А.Л.Осипова Аналитическая механика, устойчивость и управление: Труды X Международной Четаевской конференции. Т.4. Секция 4. Компьютерные технологии в образовании, управлении производством и тренажеры. Казань, 2012, Изд-во КГТУ с.243-249.

Д.А. Сердобинцева

### РАСЧЕТ СПЕКТРАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ МАССИВОВ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С.П. Королева (национальный исследовательский университет))



Цель работы – теоретическое и экспериментальное исследование коэффициентов связанности, нахождение добротности и передаточной функции для массива связанных резонаторов.

Волновод на основе связанных резонаторов (coupled resonator optical waveguides, CROW) является важным элементом для исследований в нелинейной оптике, а так же для использования в телекоммуникациях. Он состоит из нескольких связанных резонаторов, например от 1 до 5 связанных резонаторов можно использовать для фильтрации и модуляции оптических сигналов. В больших системах, где число резонаторов больше 10, у CROW появляются новые уникальные и управляемые диспергирующие свойства.

Одним из интересных свойств CROW является распространение оптических импульсов с очень низкой групповой скоростью. Так как резонаторы в структуре между собой слабо связаны, прохождение оптического сигнала между резонаторами занимает больше времени, таким образом, замедляется. Поэтому воспользовавшись явлением замедления света в CROW можно производить оптические буферы, а так же открыть новые возможности в направлении производства компактных оптических линий задержки и интерферометров.

Теория связанных мод описывает физическую систему с точки зрения набора идеализированных компонентов (например изолированных волноводов и резонаторов), которые связаны, в некотором роде.

Выше было сказано, что CROW представляет из себя массив резонаторов. Опишем при помощи теории связанных мод массив из  $N$  резонаторов. Пусть  $a_j$  - комплексная амплитуда в  $j$ -м резонаторе,  $p_{in}$ ,  $p_{rf}$ ,  $p_{tr}$  - амплитуды входного, отраженного и прошедшего полей соответственно. Резонансная частота каждого резонатора  $\omega_0$ , а  $k_j$  коэффициенты связанности каждого резонатора с массивом.

Тогда массив связанных резонаторов можно описать в матричном виде:

$$Ma = p_{in},$$

$$M = \begin{pmatrix} s_1 + k_0 & ik_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ ik_1 & s_2 & ik_2 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & ik_i & s_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & ik_{N-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & s_{N-1} & ik_{N-1} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & ik_{N-1} & s_N + k_N \end{pmatrix}$$

где  $s_j = i(\omega - \omega_0) + r_j = s + r_j$  - переменная, учитывающая рассогласование относительно частоты резонансной моды и энергетические потери  $r_j$  резонатора в пространство. Функцию пропускания системы можно записать в виде:

$$T_N(s) = \frac{p_{tr}}{p_{in}} = -\frac{2(-i)^{N-1} \sqrt{k_0 k_N k_1 k_2 \dots k_{N-1}}}{\det(M)}, \quad (1)$$

где  $p_{tr} = -i\sqrt{2k_N} a_N = -2\sqrt{k_0 k_N} [M^{-1}]_{N,1} p_{in}$ .

Для  $N=1$ , уравнение (1) сводится к виду:

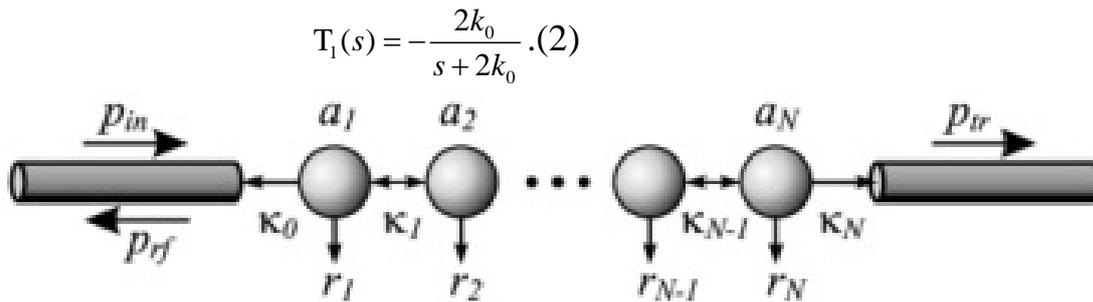


Рис. 1. Схема оптического волновода на основе связанных резонаторов  
 Для массива из трех резонаторов, передаточная функция равна

$$T_2(s) = \frac{i2k_0k_1}{(s + k_0)^2 + k_1^2}. \quad (3)$$

Случай массива двух связанных резонаторов можно интерпретировать как простейший одномерный резонатор Фабри-Перо.

В терминах Фабри-Перо, передаточная функция будет выглядеть следующим образом:

$$T = \frac{1}{1 + F^2 \sin^2(\delta/2)}, \quad (4)$$

где  $F = \frac{4R}{(1-R)^2}$  - резкость резонатора (характеризует разрешающую способность),

$R$  - коэффициент отражения,

$\delta = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) 2nl \cos \theta$  - фазовый сдвиг.

Нахождение отраженных лучей в фазе зависит от длины волны источника света в вакууме ( $\lambda$ ), угла прохождения света через резонатор ( $\theta$ ), толщины резонатора ( $l$ ) и показателя преломления материала между отражающими поверхностями ( $n$ ).

Экспериментальное исследование массива резонаторов осуществлялось с помощью программного пакета для конечно-разностного моделирования электромагнитных систем Меер. Моделирование массива двух связанных резонаторов проводилось для различных расстояний между резонаторами, находя соответствие между параметрами аналитики и FDTD – фазой и расстоянием. Пример сравнения экспериментальных и аналитических результатов представлен на рисунке ниже.

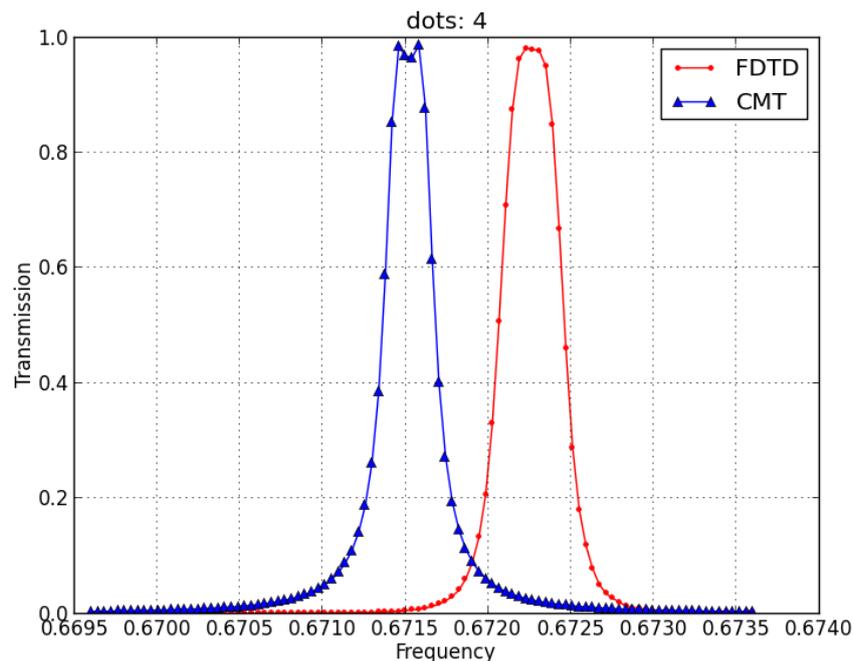


Рис. 2. Спектральные кривые для массива двух резонаторов с четырьмя отверстиями (расстояние между резонаторами – 350нм)

### Литература

1. Казанский Н.Л., Серафимович П.Г. Coupled-resonator optical waveguides for temporal integration of optical signals [Электронный ресурс] // Optics Express. – 2014. Режим доступа: <http://www.opticsinfobase.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-22-11-4004&id=286668>
2. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light. Second Edition/ John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Joshua N. Winn, Robert D. Meade. – Princeton University Press, 2008. – 305 p.
3. Band diagram, resonant modes, and transmission in a holey waveguide [Электронный ресурс] // Meep Tutorial. – 2010. Режим доступа: [http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/Meep\\_Tutorial/Band\\_diagram,\\_resonant\\_modes,\\_and\\_transmission\\_in\\_a\\_holey\\_waveguide](http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/Meep_Tutorial/Band_diagram,_resonant_modes,_and_transmission_in_a_holey_waveguide)

А.А. Смирнов

## КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Задача классификации изображения заключается в отнесении этого изображения к одному из нескольких классов. Необходимо заметить, что в этой задаче множество классов, к которым может быть отнесено изображение, заранее