

Е.С.ГРИЧУК¹, М.Г.КУЗЬМИНА², Э.А.МАНЬКИН³

¹ Московский Инженерно-физический Институт
E-mail: t-25.ru

² Институт прикладной математики РАН, Москва
E-mail: kuzmina@keldysh.ru

³ Российский научный центр «Курчатовский Институт»
E-mail: edmany@issph.kiae.ru

ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В ЗРИТЕЛЬНОЙ СЦЕНЕ ОСЦИЛЛЯТОРНО-СЕТЕВЫМ МЕТОДОМ

Аннотация

В рамках разработанного осцилляторно-сетевого метода обработки изображений предложен фазовый подход для последовательного выделения объектов зрительной сцены. Подход основан на использовании комбинации двух идентичных осцилляторных сетей, обеспечивающих синфазную синхронизацию осцилляторных ансамблей, соответствующих каждому из пространственно разделенных объектов, подлежащих выделению, и конечную разность фаз между этими ансамблями. Сформулированы ограничения на геометрическую форму и взаимное расположение объектов, при которых фазовый подход обеспечивает удовлетворительное решение задачи.

E.S.GRICHUK¹, M.G.KUZMINA², E.A.MANYKIN³

¹ Moscow Engineering Physics Institute
E-mail: t-25.ru

² Keldysh Institute of Applied Mathematics, RAS, Moscow
E-mail: kuzmina@keldysh.ru

³ Russian Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow
E-mail: edmany@issph.kiae.ru

SEPARATION OF VISUAL SCENE OBJECTS VIA OSCILLATORY NETWORK METHOD

Abstract

A phase approach for sequential separation of visual scene objects has been used in the frames of the previously developed oscillatory network method for image processing. The approach is based on construction of combination of two identical oscillatory networks, providing in-phase synchronization of oscillator ensembles, corresponding to different spatially separated objects to be separated from visual scene and finite phase difference between the ensembles. The restrictions on geometrical form and mutual object locations have been formulated at which the separation problem can be satisfactory resolved via the phase approach.

Введение

Новым этапом развития разработанного осцилляторно-сетевого метода обработки изображений [1 - 3] является обращение к задачам анализа зрительной сцены. Эти задачи относятся к классу задач обработки изображений более высокого уровня по сравнению с задачей яркостной сегментации, на которых метод был отработан. В зависимости от постановки задачи, проблемы анализа зрительной сцены требуют привлечения специальных методов анализа изображения (типа фильтрации или распознавания образов). Например, при решении задачи выделения текстурных объектов в зрительной сцене необходимо использовать наборы фильтров и спектральных гистограмм [7]. Весьма обещающим явилось бы использование методов вычислительной геометрии и топологии [8, 9] в задачах выделения объектов зрительной сцены. Но этого, насколько нам известно, пока по-настоящему не сделано.

На первом шаге мы остановились на задаче последовательного (поочередного) выделения объектов зрительной сцены в простейшей (но востребованной) ситуации, когда объекты – многопиксельные, топологически односвязные части изображения почти одинаковой яркости и четко пространственно разделенные. Подчеркнем, что речь идет о задаче выделения именно однояркостных объектов (т.е. фактически частей сложного многосвязного одно-яркостного фрагмента) потому, что задача разделения объектов различной яркости уверенно решается разработанным осцилляторно-сетевым методом, в то время как последовательное выделение всех компонент сложного одно-яркостного фрагмента не может быть автоматически осуществлено в рамках

разработанной модели осцилляторной сети. Однако, простая модификация модели – использование двух независимых осцилляторных подсетей, соответствующих изображению вместо одной – приводит к решению поставленной задачи. Принципы связывания осцилляторов подсетей построены таким образом, что удается добиться синфазной синхронизации ансамблей осцилляторов, соответствующих каждой из связанных компонент многосвязного одно-яркостного фрагмента, и при этом обеспечить конечную разность фаз между всеми ансамблями, соответствующими односвязным компонентам фрагмента. Примененный фазовый подход позволяет также сформулировать ограничения на геометрическую форму и взаимное пространственное расположение объектов, при которых задача их разделения разрешима предложенным методом.

Осцилляторная сеть для яркостной сегментации изображений

Напомним вкратце принцип работы исходной модели осцилляторной сети, предназначенной для яркостной сегментации изображений. Сеть состоит из осцилляторов предельного цикла, локализованных в узлах двумерной пространственной решетки, соответствующей пиксельному массиву изображения (каждому пикселю отвечает один осциллятор). Под яркостной сегментацией мы понимаем представление изображения в виде разложения на множество фрагментов – подмножеств пиксельного массива с различным уровнем яркости. Яркостная сегментация осуществляется путем самоорганизованной кластерной синхронизации сети (каждый кластер синхронизованных осцилляторов соответствует фрагменту определенной яркости).

Уравнения динамики сети записываются для $M \times N$ – матрицы $\hat{u} = [u_{jm}]$ комплексных переменных, определяющих состояния всех осцилляторов сети:

$$du_{jm} / dt = f(u_{jm}; \rho_{jm}, \omega_{jm}) + \sum_{j', m'}^N W_{jmj'm'} \cdot (u_{j'm'} - u_{jm}), \quad j = 1, \dots, M; m = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Функции $f(u_{jm}; \rho_{jm}, \omega_{jm})$, определяют внутреннюю динамику изолированных осцилляторов (бифуркационную: предельный цикл или фокус), а $W_{jmj'm'}$ определяют силу связей осцилляторов в сети. Радиусы ρ_{jm} предельных циклов осцилляторов (амплитуды колебаний) и

собственные частоты ω_{jm} служат параметрами функций $f(u_{jm}; \rho_{jm}, \omega_{jm})$, а $W_{jmj'm'}$ построены в виде нелинейных функций, зависящих от амплитуд ρ_{jm} и $\rho_{j'm'}$ взаимодействующей пары и от пространственного расстояния между осцилляторами. Радиусы предельных циклов и собственные частоты задаются в виде монотонных функций от яркости пикселей I_{jm} . Сегментация изображения осуществляется сетью в два шага: 1) преднастройки сети – настройки параметров внутренней динамики и связей; 2) релаксации сети в состояние кластерной синхронизации, в котором каждый синхронизованный кластер осцилляторов соответствует определенному фрагменту изображения. Как оказалось, построенная модель доставляет достаточно гибкий и работоспособный колебательный метод яркостной сегментации как черно-белых, так и цветных реальных изображений. Легко осуществима также селективная сегментация – выделение из изображения только подмножества фрагментов с яркостью, заключенной внутри заранее выбранного интервала.

Самоорганизованную релаксацию сети в состояние синхронизации можно интерпретировать с точки зрения адаптивно управляемых динамических систем, рассматривая ее как результат применения к осцилляторной динамической системе версии прямого метода адаптивного управления, основанного на самоорганизованной настройке параметров динамической системы.

Отметим также, что принцип работы сети перекликается с согласованной работой много-агентных систем (MAS). Агентами (процессорами) в данном случае являются осцилляторы с настраиваемой внутренней динамикой, расположенные в узлах неподвижной решетки. Кооперативное решение задачи (обработка изображения) осуществляется в результате согласованного (и перестраиваемого в зависимости от конкретной задачи) взаимодействия процессоров системы.

Комбинация двух осцилляторных сетей для последовательного выделения фрагментов изображения одинаковой яркости

Неоднократно предпринимались попытки решить задачу выделения объектов зрительной сцены осцилляторно-сетевыми методами в рамках фазового приближения [4-6]. Как правило, решение задачи достигается за счет проведения дополнительных непростых вычислений (введение

дополнительного слоя неосцилляторных элементов в [4], моделирование нескольких глобальных ингибиторов для сети в [5]). Мы попытались решить задачу выделения объектов в рамках нашей осцилляторной модели также используя фазовый подход, но без привлечения дополнительных вычислительных методов. При этом удалось сформулировать ограничения, при которых удовлетворительное решение оказывается возможным.

В качестве начальной мы поставили задачу поочередного выделения пространственно разделенных объектов изображения почти одинаковой яркости (которые можно было бы рассматривать как односвязные компоненты сложного многосвязного однояркостного фрагмента изображения). Для решения этой задачи были введены две независимых осцилляторных подсети, соответствующих изображению: x -слой и y -слой, так что каждому пикселю теперь соответствовали два осциллятора – один из x - и другой из y -слоя. Внутри каждого слоя принцип связывания сетевых осцилляторов строится так же, как в основной модели, а связи между слоями отсутствуют. Преднастройка слоев выполняется независимо. Начальное распределение фаз осцилляторов в x - и y -слоях задавалось пропорционально пространственным x - и y -координатам осцилляторов в решетке:

$$\theta_{jm}^{(x)} = 2\pi j / M, \quad \theta_{jm}^{(y)} = 2\pi m / N, \quad j = 1, \dots, M, \quad m = 1, \dots, N, \quad (2)$$

где M - ширина, а N - высота изображения. После релаксации в состоянии синхронизации разность фаз в x -слое между двумя синфазно синхронизованными ансамблями, соответствующими двум разным объектам, пропорциональна разности x -координат «центров» объектов (центр пиксельной области, соответствующей объекту в изображении), а в y -слое – разности y -координат «центров» тех же объектов. Таким образом, благодаря возникновению конечной разности фаз между пространственно разделенными объектами изображения, все такие объекты можно разделить и при желании выделить последовательно. Трудности возникают в случае, когда один объект «закрученной» формы содержит внутри себя другой (следствие особенности фазовой переменной, которая в данном случае выбрана как «разделяющий» параметр).

Пример разрешимого фазовым подходом разделения объектов зрительной сцены приведен на рис. 1. Динамика фаз при переходе к синхронизации для осцилляторов x - и y -слоя показана на рис. 2.

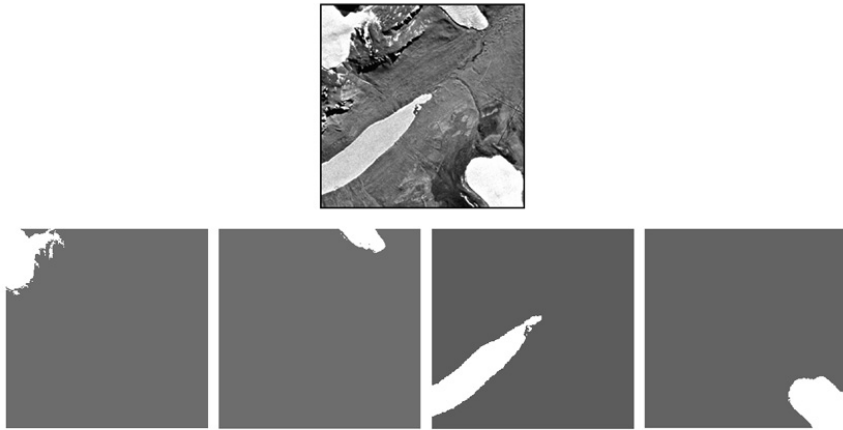


Рис.1 Пример разделения объектов в реальном изображении (снежные области на поверхности земли):

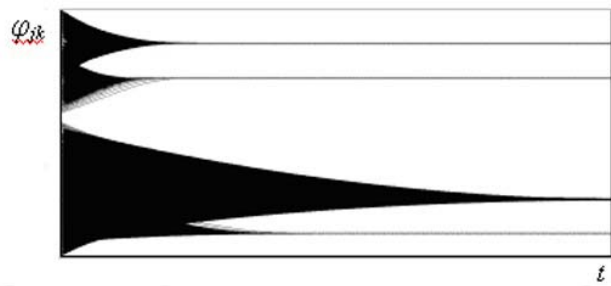


Рис. 2 Зависимости $\varphi_{jk}(t) = \arg(u_{jk}(t)) - \omega t$, соответствующие разделению объектов, показанному на рис. 1.

Заключительные замечания

В работе выяснено, что в рамках осцилляторно-сетевого метода обработки изображений использование фазового подхода в задаче выделения однояркостных объектов зрительной сцены приводит к удовлетворительному решению задачи за исключением случаев, когда координаты центров пиксельных областей, определяющих объекты, совпадают.

Список литературы

1. M.G.Kuzmina, E.A.Manykin, I.I.Surina, "Oscillatory network with self-organized dynamical connections for synchronization-based image segmentation", *BioSystems*, v.76, no. 1-3, pp. 43-53, 2004.
2. E.Grichuk, M.Kuzmina, E.Manykin "Oscillatory Network for Synchronization-based Adaptive Image Segmentation", *World Congress on Computation Intelligence*, July 16-23, 2006, Vancouver, Canada; WCCI 2006 Final Program and Book of Abstracts, p.347; DVD: 37726D, ISSN: 0-7803-9489-5, Technical Program Listing, p.84.
3. Е.С. Гричук, М.Г.Кузьмина, Э.А.Манькин «Селективная сегментация реальных изображений осцилляторно-сетевым методом», *Нейроинформатика-2007*, Сборник научных трудов, ч.3, 235-244, Москва, 2007.
4. A.Labbi, R.Milanese, H.Bosch "Gray-level object segmentation with a network of FitzHugh-Nagumo oscillators", *Proc. of IWANN 1997*, pp.1075-1084, 1997.
- 5 D.L.Wang "Object selection based on oscillatory correlation", *Neural Networks*, vol.12, pp.579-592, 1999.
6. Y. Kazanovich and R. Borisuyk "Object selection by an oscillatory neural network", *Biosystems*, vol. 67, pp. 103-111, 2002.
7. D.Wang "The time dimension for scene analysis", *IEEE Trans. NN*, vol.16, pp.1401-1426, 2005.
8. Н.Г.Макаренко «Как получить временные ряды из геометрии и топологии пространственных паттернов», *Нейроинформатика-2004*, Сборник научных трудов, часть 2 (лекции по нейроинформатике), с.140-199, Москва. 2004.
9. B. Fritzsche "Growing Grid – a self-organizing network with constant neighborhood and adaptation strength", *Neural Processing Letters*, vol. 2, no. 5, pp. 9-13, 1995.