

УДК 537.635

А.Б. Тихановский, О.Ю. Ушаков (5 курс, каф. ИТиКТ, СПбГИТМО(ТУ)),  
М.Я. Марусина, к.т.н., доц.

### ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПИКСЕЛОВ ЯМР-ИЗОБРАЖЕНИЯ

ABSTRACT: The estimation of the size picture element of the NMR-image is carried out. It is shown, that the increase of number of points of the given image will reduce the size picture element, but the sanction will not improve, since the sanction of the image depends on molecular processes and from heterogeneity of a magnetic field, which in turn render influence on  $T_2^*$ . The expression for incorporated temporary constant  $T_2^*$  is received in view of influence of temperature.

Ядерный магнитный резонанс является методом томографического отображения, служащим для получения послойных ЯМР-изображений. Каждый срез, имеющий толщину ( $\Delta z$ ), состоит из отдельных элементов объема или вокселей (volume element). Получение изображения основано на пространственных вариациях фазы и частоты радиочастотной энергии, поглощенной и испущенной отображаемым объектом. Магниторезонансное изображение состоит из отдельных элементов плоскости, называемых пикселями (picture element). Интенсивность пикселя пропорциональна интенсивности ЯМР-сигнала от соответствующих элементов объема или вокселей изображаемого объекта. Спектры этих сигналов позволяют, после соответствующей обработки, получить сведения о распределении магнитных моментов ядер и их динамических характеристик по объему образца.

Определение параметров магниторезонансного изображения связано с рядом случайных и систематических погрешностей, обусловленных спецификой данного метода. Очевидно, что качество изображения будет зависеть, в основном, от разрешающей способности аппаратуры и контрастности.

Возможность разрешения двух элементов изображения является функцией многих переменных: спин-спиновое время релаксации  $T_2$ , отношение сигнал-шум, частота дискретизации, толщина среза и размер матрицы изображения – лишь некоторые из них. Разрешение является критерием качества изображения.

Кроме того, существует зависимость между разрешением, полем обзора по направлению частотного кодирования (field of view – FOV) и числом точек данных в изображении  $N$  (или числом шагов фазового кодирования). Невозможно разрешить два элемента, расположенные ближе, чем  $FOV/N$ , или пиксел. Можно предположить, что увеличение числа точек данных изображения улучшит разрешение.

Однако, увеличение числа точек данных изображения уменьшит размер пикселя, но никак не улучшит разрешение. Даже в изображении без шума и с оптимальным контрастированием не всегда можно разрешить два элемента размерами в пиксел, так как вмешивается объединенная временная постоянная  $T_2^*$ .

Спин-решеточная или продольная релаксация (характеризуемая временем  $T_1$ ) обусловлена энергетическим обменом между спинами и средой, в которой они находятся. Поведение продольной намагниченности в этом случае подчиняется закону:  $M_z = M_0(1 - e^{-t/T_1})$ . Время спин-решеточной релаксации  $T_1$  – это время, необходимое для уменьшения разности между продольной намагниченностью  $M_z$  и ее равновесным значением  $M_0$ , т.е. когда вектор намагниченности параллелен направлению поляризирующего магнитного поля  $B_0$ .

Спин-спиновая или поперечная релаксация (характеризуемая временем  $T_2$ ) обусловлена взаимодействием между спинами. Эти взаимодействия создают локальные поля, т.е. неоднородности основного поляризирующего поля  $B_0$ , что ведет к неодинаковости угловых скоростей  $\nu$  или к расфазированию спинов и потере резонанса в плоскости  $XU$ . Поведение

ние поперечной намагниченности  $M_{XY}$ :  $M_{XY} = M_{XY0} e^{-t/T_2}$ . Время спин-спиновой релаксации  $T_2$ , это время необходимое для уменьшения поперечной намагниченности.

В действительности, оба процесса происходят одновременно, лишь с тем ограничением, что  $T_2$  меньше или равно  $T_1$ . К уменьшению поперечной намагниченности приводят два фактора: во-первых, молекулярные взаимодействия, приводящие к чистому молекулярному эффекту  $T_2$ ; во-вторых, неоднородность поляризирующего магнитного поля  $B_0$ , из-за которой возникает неоднородность  $T_2$ . Поэтому используют объединенную временную постоянную  $T_2^*$ , зависящую от молекулярных процессов и от неоднородности магнитного поля  $\Delta B$ . Кроме того, на спин-спиновую релаксацию  $T_2$  оказывает влияние изменение температуры. Следовательно, выражение для  $T_2^*$  можно записать в следующем виде:

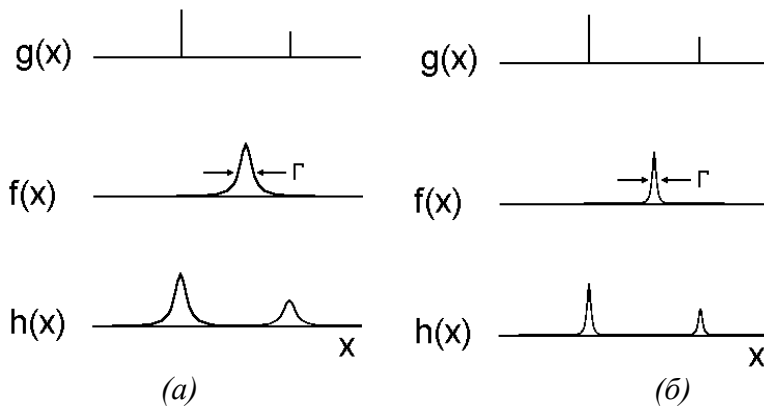
$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \gamma \frac{\Delta B}{2} + K e^{-1/T}, \text{ где } K - \text{ некий температурный коэффициент, } T - \text{ температура, } \gamma$$

– гиромагнитное соотношение.

Магниторезонансное изображение можно представить как свертку ЯМР-спектра спинов с картой их пространственного распределения концентраций. Если  $g(x)$  является распределением спинов,  $f(\nu)$  является ЯМР-спектром спинов ( $\nu$  – резонансная частота ядра или ларморова частота), а  $f(\nu G_x^{-1} \gamma^{-1})$  является ЯМР-спектром в единицах расстояния, в присутствии градиента магнитного поля  $G_x$ , тогда одномерное изображение  $h(x)$ , состоящее из одного типа спинов:  $h(x) = g(x) \otimes f(\nu G_x^{-1} \gamma^{-1})$ .

Исходя из описания пар Фурье, которые используются в магниторезонансной томографии, ширина сплошной линии в Гц на половине высоты будет равна:  $\Gamma = (\pi T_2^*)^{-1}$ .

Проведем сравнение результата свертки  $h(x)$  ЯМР-спектра  $f(x)$  от данного типа спина с распределением  $g(x)$  для короткой объединенной временной постоянной  $T_2^*$  (широкая сплошная линия  $\Gamma$ ) (а) и для длинной  $T_2^*$  (узкая сплошная линия  $\Gamma$ ) (б).



Из проведенного сравнения можно сделать вывод о том, что размер пиксела должен быть выбран приблизительно равным:  $(\pi G_x \gamma T_2^*)^{-1}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Сороко Л.М. Интроскопия на основе ядерного магнитного резонанса. М.: Энергоатомиздат. 1986.
2. Hornak J. P. The basics of MRI.2000 - [www.cis.rit.edu/htbooks/mri/bmri.html](http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/bmri.html)