

МЕТОД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФОРМАТОВ МУЗЫКАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Фадеев А.С. Кочегурова Е.А.

Введение

Быстрый рост информационных технологии сделал возможным программные и аппаратные реализации многих прикладных математических задач, в том числе, связанных с обработкой аудиозаписей. Большое внимание уделяется вопросам сжатия, фильтрации, линейной и нелинейной обработки, а также вопросам преобразования форматов современных мультимедийных систем. Рассмотрение многих вопросов, требующих больших вычислительных мощностей, становится возможным лишь с появлением современных высокопроизводительных ЭВМ. Решаются задачи классификации, распознавания и формирования объектных форматов, в том числе для графических систем. Обработке музыкальной информации уделяется не столь много внимания.

Музыкальной можно назвать воспроизводимую информацию, воспринимаемую человеком на слух, которую можно записать в виде нотных партитур. Музыкальное произведение — это записанный нотами на аналоговых, цифровых или иных носителях конечный фрагмент потока музыкальной информации.

По аналогии с графическими цифровыми форматами любое музыкальное произведение можно представить в виде объектного и амплитудно-временного форматов.

Наиболее популярным объектным форматом музыки является нотная запись. Она представляет собой совокупность объектов (нот, пауз, знаков альтерации и др.) с определенным набором свойств: длительность, высота, уровень громкости, временные значения (Рис.1.). Мультимедийные системы достаточно часто используют формат *MIDI* (*Musical Instrument Digital Interface*), представляющий собой объектное описание партий музыкальных инструментов. Отличительной особенностью объектного формата является чрезвычайно малый размер файлов и гибкость музыкального произведения.

Для воспроизведения музыкального произведения,

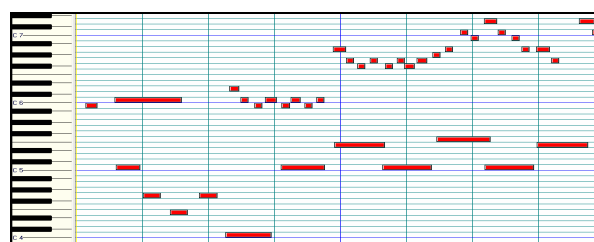
Дано описание объектного и амплитудно-временного музыкальных форматов и методов перевода музыкальной информации из формата в формат. Описан программно-технический комплекс, позволяющий производить соответствующие преобразования музыкальной информации, математической основой которого является аппарат непрерывных вейвлет-преобразований с использованием нестандартных вейвлет-функций. Приводится методика формирования базисных вейвлетов, описан эксперимент и интерпретация полученных результатов.

записанного в *MIDI*-формате, необходимо использовать программно- и/или аппаратно-реализованные комплексы. Разные мультимедийные системы могут воспроизвести одно и то же объектное представление музыкального произведения с отличиями, явно воспринимаемыми на слух.

Амплитудно-временной формат музыкальных произведений не требует сложного программно-аппаратного обеспечения для воспроизведения музыки. При отсутствии нелинейных искажений в системах воспроизведения амплитудно-временного формата все системы воспроизведут одно и то же музыкальное произведение идентично. Наибольшую популярность среди аналоговых носителей информации получили грампластинки и аудиокассеты с магнитной лентой. Среди цифровых носителей информации без сжатия наиболее популярны компакт-диски формата *CD-DA* (*Compact Disk Digital Audio*) и файлы *Wave* (*Microsoft Waveform data*). Музыкальная информация форматов *Wave* и *CD-DA* представлена в виде решетчатой функции стандарта *PCM* (*Pulse Code Modulation* — импульсно-кодовая модуляция). Наиболее часто цифровые музыкальные форматы используют частоту дискретизации сигнала 44100 Гц с количеством уровней квантования 2^{16} . Такие параметры позволяют передавать музыкальные записи без воспринимаемых на слух искажений. На рис.2 приведено амплитудно-временное представление (АВП) фрагментов мелодии фортепианной полифонии В.А.Моцарта.



а)



б)

Рис.1. Визуализированное объектное представление фрагмента мелодии фортепианного произведения В.А. Моцарта: а) нотная запись; б) представление Sakewalk Piano Roll.

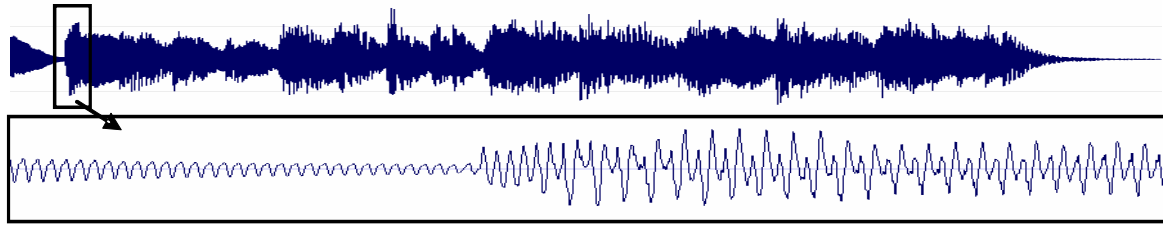


Рис. 2. Амплитудно-временное представление мелодии В.А. Моцарта: фрагмента продолжительностью 2,0 с (сверху); фрагмента продолжительностью 0,3 с (снизу). Вдоль оси ординат отложены значения амплитуды. Ось абсцисс (здесь и далее) представляет собой ось времени.

Одним из недостатков амплитудно-временных форматов является большой объем цифровых данных получаемых при хранении и обработке музыкальных произведений. Так, полифония В.А. Моцарта продолжительностью 11 минут в *MIDI* формате занимает 43Кб, а в формате *Wave* - 69,5 Мб.

Соответственно двум форматам представления музыкальных произведений, возможны два типа преобразований: прямое, позволяющее объектный формат музыкального произведения преобразовать в амплитудно-временной, и обратное, позволяющее по амплитудно-временному формату получить объектный.

Задача преобразования объектного формата в амплитудно-временной (прямое преобразование) решена, и активно используется с 80-х годов XX века многими музыкальными синтезаторами.

Однако, актуальна и обратная задача, согласно которой необходимо амплитудно-временной формат звукозаписи преобразовать в объектный. Например, по звукозаписи получить нотные партитуры всех звучащих инструментов. Область применения такого преобразования обширна:

- восстановление архивных звукозаписей;
- нотное представление игры виртуозов-исполнителей и композиторов;
- уменьшение объемов звуковых данных;
- редактирование партий музыкальных инструментов;
- создание караоке-произведений;
- процесс обучения.

На сегодняшний момент рынок программных продуктов не предлагает программных решений, способных выполнить преобразование амплитудно-временного формата музыкального произведения в объектное. А единственной технологией осуществления преобразо-

вания является слуховой анализ музыкального произведения с последующим рутинным подбором музыкантом-аранжировщиком партий каждого инструмента, входящего в состав произведения [1].

В данной работе приведено описание программно-технического комплекса, выполняющего формирование аудио-данных в объектном формате с последующим преобразованием их в амплитудно-временной формат и снова в объектный. Структурная схема комплекса приведена на рисунке (Рис.3). Комплекс включает в себя ряд технических и программных компонентов, обозначенных на схеме отдельными блоками. Стрелками обозначены возможные направления и пути передачи информации. Каждый элемент схемы снабжен подписью с названием программного пакета, дополняющего функции технического устройства.

Программно-аппаратный комплекс выполнен на базе персонального компьютера с использованием оригинальных программных модулей, разработанных и реализованных в средах *Borland Delphi* и *C++ Builder*. Кроме самостоятельно разработанных программ, используется коммерческое программное обеспечение сторонних производителей. Каждый блок, обозначенный на схеме, имеет аппаратную (утолщенный контур на рисунке) либо программную реализацию и выполняет определенные функции. Реализация отдельных блоков рассмотрена в [1, 2].

Функционально блоки установки объединены в три модуля:

- модуль формирования музыкального фрагмента;
- модуль математических преобразований;
- модуль идентификации и распознавания музыкальных объектов.

Рассмотрим работу и функции каждого модуля.

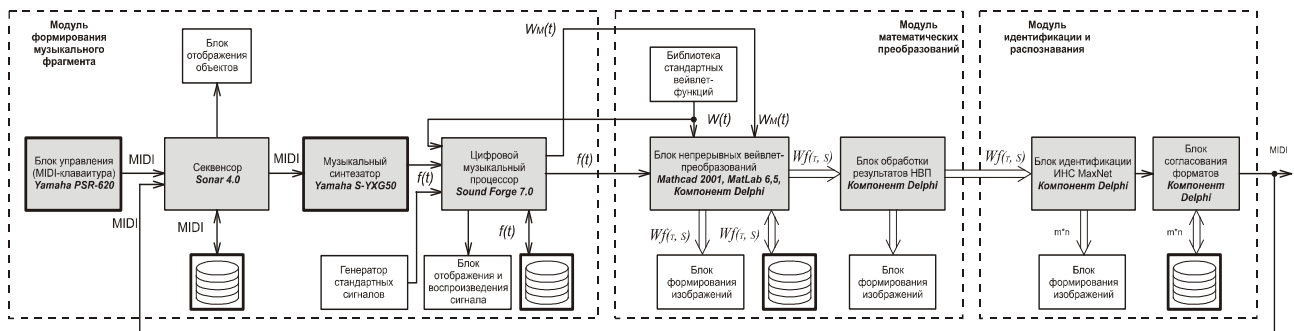


Рис. 3. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

Модуль формирования музыкального фрагмента

предназначен для создания экспериментальных сигналов и фрагментов музыкальных произведений для дальнейшей автоматизированной обработки. Модуль позволяет сгенерировать музыкальный фрагмент в требуемом формате. В блоке секвенсора *Sonar 4.0* фирмы *Cakewalk* формируется музыкальный фрагмент в объектном представлении (в виде команд интерфейса *MIDI*). При помощи программы-секвенсора *Sonar* формируются партии всех музыкальных инструментов произведения и объединяются в законченную музыкальную композицию. Все операции совершаются в объектном виде с объектами *MIDI*. Управление секвенсором осуществляется при помощи блока управления. Блок управления *Yamaha PSR-620* представляет собой аппаратно-реализованное устройство, формирующее команды *MIDI*-интерфейса. Блок управления имеет большое количество органов управления, в том числе *MIDI*-клавиатуру, состоящую из 56 клавиш, идентичных клавиатуре фортепиано. Таким образом, сформированное музыкальное произведение в *MIDI*-формате с выхода блока секвенсора поступает на вход музыкального синтезатора.

Музыкальный синтезатор выполняет процедуру преобразования объектного представления музыкальной информации в амплитудно-временное. На выходе блока формируется решетчатая функция $f(t)$, соответствующая АВП сигнала. Частота дискретизации сигнала $f(t)$ $\nu_s=44100$ Гц, количество уровней квантования $N=2^{16}=65536$.

Музыкальный синтезатор может быть реализован как программно, так и аппаратно. В качестве музыкального синтезатора данной установки используется программный синтезатор *Yamaha S-YXG50*. Он способен воспроизводить голоса 625 музыкальных инструментов и формировать многоголосное произведение, с одновременным звучанием до 512 нот.

Для дополнительной обработки дискретизированный сигнал $f(t)$ поступает с выхода блока музыкального синтезатора на вход блока цифрового музыкального процессора (ЦМП). В данной установке функции музыкального процессора выполняет программный продукт *Sony Sound Forge 7.0*. И хотя этот ПП достаточно дорогостоящий и обладает сложным интерфейсом, он наиболее функционален из предлагаемых на рынке музыкального ПО. Музыкальный процессор используется для:

- линейной и нелинейной обработки сигнала в цифровом виде;
- визуализации амплитудно-временного представления сигнала и его фрагментов;
- воспроизведения заданного фрагмента сигнала;
- выделения из сигнала $f(t)$ фрагмента для построения вейвлет-функции $fw(t)$;
- сохранения и восстановления сигнала на носителях информации.

Звуковое воспроизведение сформированного и обработанного сигнала осуществляется при помощи цифро-аналогового преобразователя звуковой карты компьютера и динамических акустических систем.

Модуль математической обработки является основой вычислительного эксперимента и предназначен для формирования по АВП сигнала $f(t)$ его амплитудно-

частотно-временного представления (АЧВП) $Wf(\tau, s)$, описывающего мелодическую линию каждого музыкального инструмента.

Модуль математической обработки состоит из двух основных программных блоков:

- блок непрерывных вейвлет-преобразований (НВП);
- блок обработки результатов НВП.

Блок непрерывных вейвлет-преобразований осуществляет непрерывное вейвлет-преобразование дискретизированного сигнала $f(t)$. Основу этого блока представляет программный модуль разработанный в среде *Borland Delphi*. Результатом НВП является двумерный числовой массив, $Wf(\tau, s)$ описывающий амплитудно-частотно-временные характеристики исследуемого сигнала:

$$Wf(\tau, s) = \langle f, w_{s,\tau} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) w_{s,\tau}(t) dt.$$

Качественно, результаты НВП в значительной степени зависят от выбора функции материнского вейвлета $w(t)$ [3]. Семейство вейвлет-функций $w_{s,\tau}(t)$ получают на основании материнского вейвлета $w(t)$ или $fw(t)$ масштабированием его параметром s и сдвигом на величину τ .

$$w_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} w\left(\frac{t-\tau}{s}\right).$$

Варьируя параметрами масштабирования s и смещения τ , достигают необходимой локализации как в частотной, так и во временной областях соответственно [4,5].

Семейства вейвлет-функций, основанные на различных материнских вейвлетах, обладают различными избирательными способностями, как в области частоты, так и времени. Так как операция свертки, лежащая в основе НВП, определяет степень корреляции двух функций (сигнала $f(t)$ и вейвлета $fw(t)$), то идентичные по форме функции сигнала и вейвлета дадут максимально возможные значения амплитуды в массиве результатов НВП. Это свойство использовано для формирования материнских вейвлетов, соответствующих различным музыкальным инструментам. Из аудио-записи звучания одной ноты музыкального инструмента в блоке цифрового музыкального процессора выбирается фрагмент длиной в 4 — 16 периодов квазистационарный по амплитуде и частотному спектру. Количество периодов в звучании музыкального инструмента определяет избирательные способности материнского вейвлета. Кроме того, созданный вейвлет должен удовлетворять двум условиям [6]:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} fw(t) dt = 0 \text{ и } fw(t) \rightarrow 0, \text{ при } t \rightarrow \infty.$$

В данной работе в соответствии музыкальным инструментам созданы одноименные материнские вейвлеты, применение которых в НВП позволяет достичь высокой степени идентификации мелодии конкретного музыкального инструмента. Кроме того, использование в качестве базиса НВП вейвлета определенного музыкального инструмента позволяет получать информацию об объектах — нотах, а не о поведении спектра сигнала во времени. В то время как использование в качестве базиса НВП сигнала одной гармонике дает именно АЧВП сигнала в явном виде. Хотя стандартные функции мате-

ринских вейвлетов не позволяют идентифицировать звучание определенного инструмента, в блоке НВП комплекса реализована возможность их применения из библиотек ПП Mathcad и MatLab.

Результаты НВП весьма специфичны, и, даже при визуальном анализе их графической интерпретации, могут трактоваться по-разному. На рис. 4 приведена графическая интерпретация результатов НВП мелодии В.А.Моцарта. Объектное представление этой же мелодии приведено на рис. 1.б. Ось абсцисс здесь соответствует оси времени, вдоль оси ординат отложены значения частоты, эквивалентные частотам нот фортепиано. Темные точки соответствуют элементам массива $Wf(\tau, s)$ с большими значениями амплитуды.

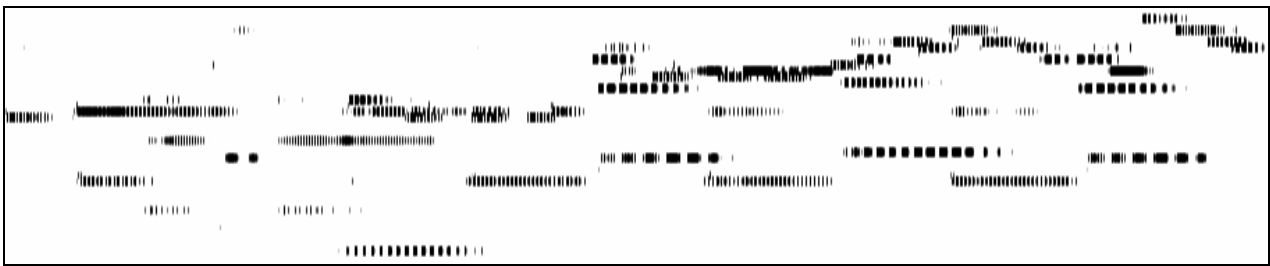


Рис. 4. Графическое представление результатов НВП

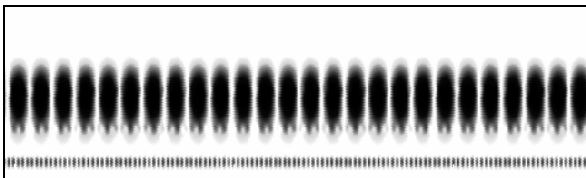


Рис. 5. а) графическое представление результатов НВП $Wf(\tau, s)$; б) идеализированная АЧВП $Wf^*(\tau, s)$

Результаты НВП содержат большое количество неинформативных участков АЧВП сигнала, которые для повышения качества дальнейшей автоматизированной обработки могут быть устранены. На рис. 5.а приведены результаты НВП сигнала вида $F(t) = \sin(2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot t) + \sin(2 \cdot \pi \cdot 120 \cdot t)$. В его спектре присутствуют только две гармонические составляющие. АЧВП сигнала $F(t)$ должно представлять собой две непрерывные во времени линии, соответствующие двум частотам: 25 и 120 Гц. Однако, реальные результаты НВП, представленные на рис. 6.а, содержат два ряда всплесков амплитуды следующих с периодами гармонических составляющих сигнала $F(t)$ (на рисунке показаны черным цветом). Так как сигнал непрерывный во времени, между всплесками амплитуды светлых промежутков не должно быть. Для упрощения графической интерпретации и повышения информативности в модуль математических преобразования включен блок обработки результатов НВП. Блок выполняет сглаживание результатов НВП на основе эвристического алгоритма построения секущей к частотным срезам АЧВП. Так, на каждом частотном срезе АЧВП выполняется сглаживание амплитудных всплесков следующих с периодом, жестко зависящем от текущей частоты среза [2]. На выходе модуля формируется идеализированное АЧВП $Wf^*(\tau, s)$ исследуемого сигнала в виде двумерного массива значений, пригодное для дальнейшей автоматизированной обработки (рис 5.б).

Модуль идентификации и распознавания предназначен для автоматизированной идентификации музыкальных объектов формата MIDI и состоит из двух блоков: блока искусственной нейронной сети (ИНС) и блока согласования форматов. Оба блока реализованы в среде программирования Delphi.

Блок идентификации представляет собой программный модуль, моделирующий работу искусственной нейронной сети. В качестве ИНС используется модифицированная сеть типа «MaxNet», с прямыми связями и варьируемым числом слоев.

Количество слоев ИНС N определяется по формуле:

$$N = \frac{s}{2} - P,$$

где P — уровень полифонической идентификации, зависящий от количества звуков (основных гармоник), присутствующих в сигнале одновременно, которые сеть должна идентифицировать; s — количество масштабов материнского вейвлета, используемого при НВП, определяющих диапазон частот идентифицируемой системой.

ИНС обрабатывает каждый временной срез АЧВП сигнала, выявляя частотные составляющие с максимальными значениями амплитуды. Количество выявленных максимумов каждого среза косвенно зависит от значения P . С каждой частотной составляющей, отобранной сетью, связано ее значение амплитуды в относительных единицах, которое указывает на громкость звучания ноты определенной частоты.

Разрешение по времени при идентификации музыкальных объектов зависит от параметра τ НВП и частоты осуществления временных срезов на входе сети.

Блок согласования форматов предназначен для формирования музыкального файла в стандарте MIDI из массива данных, полученного на выходе блока идентификации. В соответствие выявленным частотным составляющим выделяются объекты, то есть ноты, а в зависимости от присутствия частоты на смежных временных участках определяется время начала и продолжительность звучания (длительность) каждой ноты.

С выхода блока согласования форматов, по каналу обратной связи, файл в формате MIDI может передаваться на вход секвенсора для возможной обработки, воспроизведения и окончательного применения.

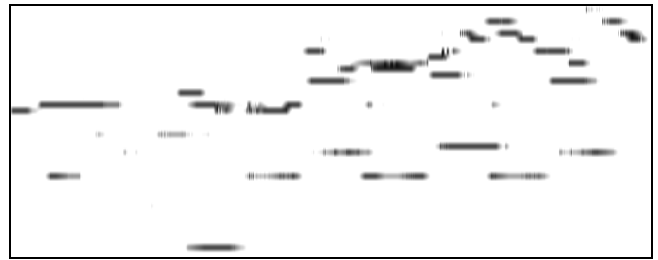
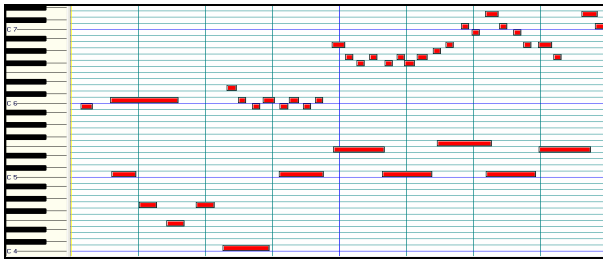


Рис. 6. а) объектное представление полифонической мелодии В.А.Моцарта; б) результат НВП мелодии представленной в виде решетчатой функции.

Результаты экспериментальных исследований

Задачу распознавания нот, как объектов музыкальной информации, можно разбить на две [7]:

1. Определение свойств музыкальных объектов одного музыкального инструмента.
2. Идентификация мелодии одного инструмента на фоне звучания других;

Решение первой задачи заключается в определении высотного положения (тона), времени начала звучания и продолжительности звучания каждой ноты в мелодии. Любой музыкальный инструмент может воспроизвести строго ограниченное число нот. Частоты основных гармоник всех нот, которые могут быть сыграны музыкальными инструментами, дискретизированы и описываются формулой

$$M_i = 27.5 \cdot 2^{\frac{i}{12}},$$

где $M_0=27.5$ Гц — частота ноты «Ля» субконтроктавы, $M_{06}=7040$ Гц — частота ноты «Ля» пятой октавы, i - порядковый номер ноты (на клавиатуре фортепиано), начиная с «Ля» субконтроктавы.

Для исключения неинформативных частот, соответствующих интервалам меньшим музыкального полутона, блок НВП формирует семейство вейвлет функций строго по дискретизированным частотам M_i . На выходе модуля математических преобразований формируется массив $Wf^i(\tau, s)$, состоящий из 96 векторов длиной T , каждый из которых описывает поведение одной ноты на всем временном интервале исследования.

Используя частоту дискретизации равной 44100 Гц, модуль НВП формирует сдвиг материнского вейвлета при формировании семейства на величину $\tau = 1/44100$ с. В этом случае время начала звучания ноты $t_n = 44100 \cdot \tau_n$ [с], где τ_n - порядковый номер отсчета

в массиве $Wf^i(\tau, s)$, соответствующий начальному моменту звучания ноты. Продолжительность звучания ноты $t_i = 44100 \cdot (\tau_k - \tau_n)$ [с], где τ_k — номер отсчета, соответствующего моменту окончания звучания ноты. А количество отсчетов в массиве $Wf^i(\tau, s)$ $T=44100 \cdot t$, где t — время звучания исследуемого музыкального фрагмента.

Ряд экспериментов, проведенных в процессе исследовании свойств НВП и создаваемых вейвлет-функций, показал, что при звучании одного инструмента НВП позволяет достичь высокой степени идентификации нот в мелодии даже при полифоническом звучании, когда в каждый момент времени звучит более одной ноты.

На рис. 6 приведен фрагмент мелодии В.А.Моцарта, сформированный в объектном виде и преобразованный в АВП, а затем обработанный модулем математических преобразований. Визуальный анализ результатов позволяет говорить об идентификации нот, исполняемых с минимально возможным интервалом исполнения по высоте ноты — пол тона (малая секунда).

Второй задачей распознавания музыкальных объектов является задача идентификации звучания одного музыкального инструмента на фоне других.

На рис. 7 приведено: а) объектное представление мелодий двух инструментов — колокольчика и трубы; б) результаты НВП записи звучания обоих инструментов вейвлетом «труба»; в) результаты НВП вейвлетом «колокольчик». Визуальный анализ сформированных изображений позволяет выделить мелодии обоих инструментов. Вейвлет «труба», имея более широкий частотный спектр, позволяет точно идентифицировать мелодию трубы. Однако Вейвлет «колокольчик», выделяя на фоне трубы мелодию колокольчика полностью, идентифицирует и некоторые звуки трубы как звуки колокольчика, давая ошибочные результирующие данные.

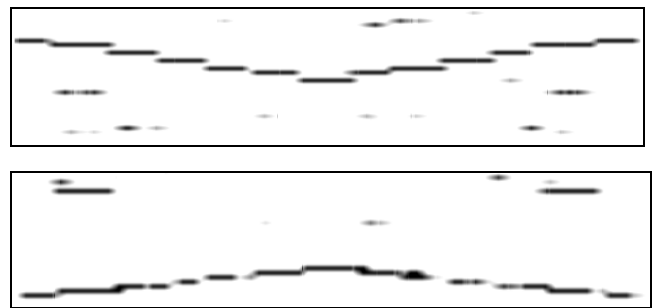
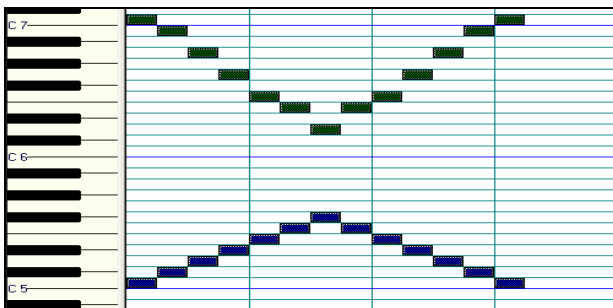


Рис. 7. Объектное представление (а) и результаты НВП музыкального фрагмента исполненного двумя инструментами (б,в).

Заключение

Разработан программно-технический комплекс, позволяющий решать задачу идентификации партии определенного музыкального инструмента с распознаванием в ней объектов-нот: их высотного положения и временных характеристик. Экспериментально доказана возможность идентификации партии полифонического исполнения одним инструментом (когда в каждый момент времени может звучать более одной ноты), а также партии одного инструмента на фоне звучания других.

Для идентификации музыкальных инструментов были сформированы материнские вейвлеты шестнадцати музыкальных инструментов и сложных сигналов: (скрипка, скрипка-пиццикато, фортепиано, орган, труба, колокольчик, рождественский колокольчик (синтезированный искусственно), флейта и др., вейвлеты сигнала синусоидальной, треугольной и прямоугольной форм). Отработана методика формирования материнских вейвлетов, позволяющая получать определенный вейвлет для требуемого музыкального инструмента, т.е. сигнала с заданными характеристиками.

Литература

1. Фадеев А.С., Кочегурова Е.А. К вопросу о преобразовании музыкальных форматов // Современные проблемы ин-

форматизации в моделировании и программировании: Сб. трудов XII Междунар. открытой научной конф. – Воронеж: Научная книга, 2006. – С. 255 – 257.

2. Фадеев А.С., Кочегурова Е.А. Подготовка результатов непрерывного вейвлет-преобразования к автоматизированной обработке // Известия Томского политехнического университета, 2006 - т. 309, - № 7. - с. 32-35.
3. Фадеев А.С., Кочегурова Е.А. Выбор вейвлет-функций для анализа музыкальной информации // Современные техника и технологии: Труды XII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых - Томск, 27-31 марта 2006. - Томск: ТПУ, 2006 - т. 2. - с. 194-196.
4. Чуи К. Введение в вейвлеты. – М.: Мир, 2001. – 412 с.
5. Васильева Л.Г. и др. Преобразования Фурье и вейвлет-преобразования. Их свойства и применение. // Вычислительные методы и программирование. 2002. Т. 3. с 172 - 175.
6. Переберин. А.В. О систематизации вейвлет-преобразований. // Вычислительные методы и программирование. 2001. Т. 2. с 15 - 40.
7. Кочегурова Е.А., Фадеев А.С. Вейвлет анализ в задаче идентификации музыкальной информации // Молодежь и современные информационные технологии: Сб. трудов IV Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – С. 149 – 151.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО

Уважаемый коллега!

Приглашаем Вас принять участие в работе 10-ой Международной конференции и выставки «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA'2008», которая состоится в Москве 26-28 марта 2008 года

ОРГАНИЗАТОРЫ:

- Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова
- IEEE Signal Processing Society
- Российская секция IEEE
- Институт радиотехники и электроники РАН
- Институт проблем управления РАН
- Институт проблем передачи информации РАН
- Московский научно-исследовательский телевизионный институт
- Компания AUTECH Ltd. (АВТЭКС)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

- Теория сигналов и систем
- Теория и методы ЦОС
- Цифровая обработка многомерных сигналов
- Цифровая обработка речевых и звуковых сигналов
- Цифровая обработка изображений
- ЦОС в системах телекоммуникаций
- ЦОС в радиотехнических системах
- ЦОС в системах управления и робототехники
- Цифровая обработка измерительной информации
- Нейрокомпьютерная обработка сигналов и изображений
- Цифровое телевидение и телевидение
- Цифровое радиовещание
- ЦОС в системах защиты информации
- Проектирование и техническая реализация систем ЦОС
- ЦОС в открытых системах
- Проблемы подготовки специалистов в области ЦОС

СРОКИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

до 20 декабря 2007
Тексты тезисов и докладов

после 20 января 2008
Информация для авторов о приеме докладов на сайте: www.rntores.ru

15 февраля 2008
Рассылка приглашений по почте

ДОКЛАДЫ ДОЛЖНЫ НАПРАВЛЯТЬСЯ В ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ ПО АДРЕСУ:

Российское НТОРЭС им. А.С. Попова, Рождественка, 6/9/20, стр. 1, Москва, 107031
Тел. (495) 921-1639 (Мусянков Михаил Иванович), 921-0610, 921-7108; Факс: (495) 921-1639

E-mail: nto.popov@mtu-net.ru; tor@rgrrta.ryazan.ru
[http:// www.dspa.ru](http://www.dspa.ru) и www.rntores.ru (раздел конференции)