ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2005. Т. LVIII, № 1.

УДК 681.3.016

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И ИНФОРМАТИКА

Г.К. ГАРДИШЯН, Л.Л. АРУТЮНЯН

# ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЗВУКОВЫХ ДАННЫХ В IP СЕТЯХ

Предлагается усовершенствованный алгоритм диспетчеризации задач обработки звуковых данных в системах реального времени на основе специальных цифровых сигнальных процессоров. Исследованы алгоритмы обработки звуковых данных и возможности их модификации. Разработана модель системы, на основе которой представлены результаты по улучшению качества обработки данных в условиях пиковой нагрузки при применении предлагаемого алгоритма.

***Ключевые слова:*** задачи реального времени, качество обработки, адаптивный фильтр, компрессия звука, цифровой сигнальный процессор.

**Введение.** Одним из основных способов обработки звуковых данных в системах VoIP является использование систем на базе специальных цифровых сигнальных процессоров (DSP)[1]. При этом для обеспечения максимальной пропускной способности системы с соблюдением режима реального времени особую роль играет вопрос оптимального управления и использования системных ресурсов. В общем случае известны методы диспетчеризации с жестким [2] и мягким [3] сохранением режима реального времени. Первый подход, как правило, характеризуется неполным использованием системных ресурсов, что приводит к уменьшению пропускной способности системы, а при втором подходе возможно ощутимое снижение качества обработки в моментах пиковой нагрузки.

В данной работе, с целью максимального повышения пропускной способности при сокращении нарушений режима реального времени, предлагается усовершенствованный подход для диспетчеризации задач в системах обработки данных реального времени с динамической адаптацией потребления ресурсов и качества обработки звуковых данных. Подход основан на возможности сокращения потребления ресурсов для отдельных задач за счет некоторого допустимого снижения качества обработки.

**Алгоритм.** Для описания алгоритма введем следующие обозначения. Пусть S(P) - система обработки звуковых данных с диспетчеризацией задач в реальном времени, где в течение системного периода P последовательно запускаются задачи из множества активных задач $\Omega_a = \{\omega_{a0}, \omega_{a1},..., \omega_{aN-1}\}$, которое является подмножеством всех возможных задач $\Omega = \{\omega_0, \omega_1,..., \omega_{N-1}\}$. Каждая задача $\omega_i$ из множества $\Omega$ характеризуется набором $\{T_i, C_i, L_i, D_i\}$, где $T_i$ - период активизации данной задачи (в нашем случае кратный периоду P); $C_i$ - время выполнения задачи в течение периода P; $L_i$, - множество входных параметров выполнения для данной задачи; $D_i$ - множество задач, зависящих от выполнения данной задачи. Загруженность системы U определяется как

$$U = \sum_{i=0}^{M} C_{ai} / T_{ai} , \qquad (1)$$

где M - количество активных задач в данный момент времени.

Таким образом, для выполнения условия реального времени требуется, чтобы $U < 1$. Каждая задача потребляет R процессорных ресурсов и обеспечивает качество обработки Q. При этом для отдельных задач можно сократить потребление процессорных ресурсов как динамическим переопределением управляющих параметров $L_c$, так и созданием и применением нескольких реализаций этих задач.

Приведем пример. В настоящее время широко используется алгоритм эхо-подавления на базе адаптивных фильтров (рис. 1), где s - сигнал с дальнего конца; η - помехи данного канала; x -результирующий сигнал, поступающий на вход фильтра; d - эталонный сигнал (в данном случае входной сигнал с голосового порта); y - выходной сигнал и ε - ошибка адаптации.

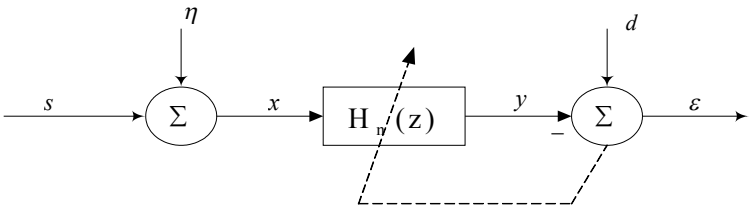


Рис. 1. Схема работы типичного адаптивного фильтра

Для адаптации фильтра обычно используется алгоритм LMS [4], что приводит к модификации коэффициентов согласно следующему выражению:

$$a_k(i+1) = a_k(i) + 2\beta E[e(i)y(i-k)],$$

где β - постоянный коэффициент; e - ошибка адаптации.

С целью оценки относительного качества работы алгоритма вычисляем индекс PESQ [5] для сигналов ( и ε при некотором эталонном входном сигнале x с изменением степени фильтра:

$$Q = PESQ(\eta, y_e), \qquad (2)$$

где $y_e$ - выход адаптивного фильтра при эталонном входном сигнале x.

На основании (2) получаем картину изменения качества обработки при уменьшении степени фильтра N (рис. 2).

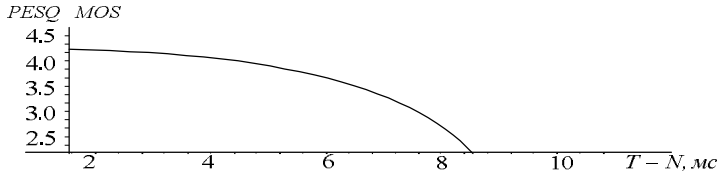


Рис. 2. Индекс PESQ для остаточного эхо-сигнала типичного голосового порта

Необходимо произвести анализ алгоритмов в данной конкретной системе на наличие функциональных блоков, где возможна подобная модификация. Далее для каждой конкретной реализации в виде программного модуля $f_{\alpha j}$ необходимо оценить качество обработки и потребление системных ресурсов. То есть, для каждой задачи необходимо получить соответствующую запись, содержащую следующую информацию: R={L, C, Q}, где L - множество конкретных управляющих параметров для данной реализации, C - потребление процессорного времени, Q - качество обработки по шкале PESQ. Таким образом, для каждой задачи $\omega_i$ таблица R отражает зависимость потребления ресурсов и качества обработки от управляющего параметра L. При этом очевидно, что чем больше записей содержит таблица R, тем выше точность алгоритма. Кроме того, следует учесть, что между задачами могут существовать зависимости по данным, то есть входные данные для выполнения некоторой задачи $\omega_i$ должны быть предварительно обработаны задачей $\omega_j$.

Для каждого периода выполнения система должна последовательно выполнять M задач из множества $\Omega_a$. Проблема состоит в выборе оптимальной последовательности. Блок - схема алгоритма приведена на рис. 3.

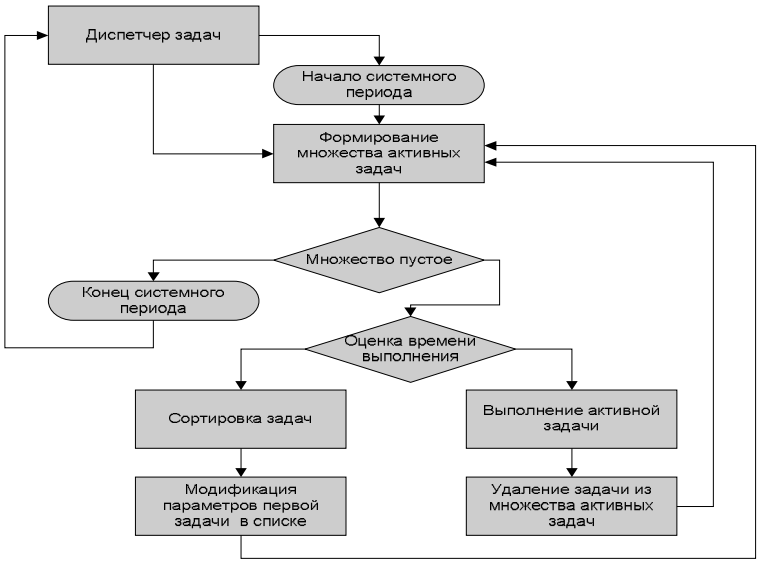


Рис. 3. Схема диспетчеризации задач по предложенному алгоритму

Выполняем следующие шаги.

1. От управляющего модуля диспетчер задач получает множество активных задач $\Omega_a$ для очередного периода выполнения.
2. Для данного конкретного набора реализаций оцениваем потребление системных ресурсов по формуле (1).
3. Если значение не превышает допустимое, то переходим к шагу 6.

4. Сортируем множество активных задач в сторону уменьшения разности потребления ресурсов при одинаковом изменении качества обработки, учитывая зависимости задач по данным следующим образом: при изменении качества обработки для некоторой задачи на $\delta Q_{ak}$ общесистемное ухудшение качества определяем как

$$\partial Q_{ak} = \partial Q_k + \sum_{\partial Q_i \in D_k} \partial Q_i ,$$

где $\delta Q_i$ - соответствующее изменение качества обработки задачи i, зависящее от задачи k, а $D_k$ - множество задач, зависящих от задачи k.

5. Модифицируем параметры первой задачи в получившемся списке и переходим к шагу 2.
6. Запускаем очередную реализацию из множества $\Omega_a$. После завершения работы оцениваем потребление и остаток системных ресурсов и удаляем выполненную задачу из списка $\Omega_a$.

**Реализация.** Апробация алгоритма была проведена на базе цифровых сигнальных процессоров от компании Texas Instruments серий TMS320C67XX, TMS320C62XX и TMS320C55XX. Соответствующим образом модифицированы и использованы реализации алгоритмов эхо-подавления, распознавания тоновых сигналов на базе адаптивных фильтров и компрессии звука по стандартам G.729 [6] и G.729a [7]. В системе было установлено максимальное количество соединений с использованием трех вышеуказанных алгоритмов. При этом максимальное число соединений для конкретного процессора вычислялось по формуле

$$N = \left[ P / \sum C_i \right].$$

Для процессоров TMS320C6711B и TMS320C5502, согласно вышеприведенным таблицам, максимальное число допустимых соединений равно соответственно $N_{6711B}=7$ и $N_{5502}=6$. В состоянии максимальной загруженности системы периодически запускалась некоторая экспериментальная задача $\omega_{test}$ с потреблением ресурсов $(P-\Sigma C_i)+dP$, где приращение dP колебалось от 5% до 20% P. На рис. 4 приведены данные, показывающие сравнительные результаты применения предлагаемого алгоритма адаптации реализаций (PESQ MOS 1) и стандартного подхода (PESQ MOS 2) в периодах активности задачи $\omega_{test}$.

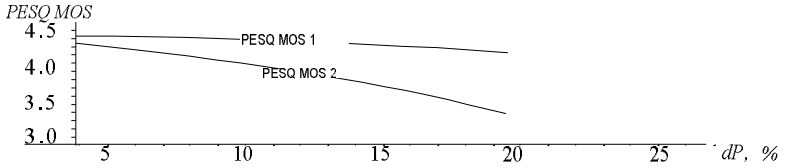


Рис. 4. Зависимость качества обработки от величины загруженности системы

**Заключение.** Применение предлагаемого алгоритма позволяет улучшить качество обработки звуковых данных реального времени в условиях максимальной загруженности системы по сравнению с существующими методами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. **Kester W.** Mixed-signal and DSP Design Techniques – Newnes. – 2002. -368 p.
2. **Liu C., Layland J.** Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment // Journal of the ACM (JACM). – 1973. - P. 46-61.
3. **Banachowski S., Brandt S**. The BEST scheduler for integrated processing of best-effort and soft real-time processes // Proceedings of Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN '02). – 2002. - P. 46–60.
4. **Deosthali A., McCaslin S., Evans B.** A Low-Complexity ITU-Compliant Dual Tone Multiple Frequency Detector // IEEE Trans. On Signal Processing. – 2000. - P. 911-916.
5. **ITU-T Recommendation P.862.** Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs. – 2001.
6. **ITU-T Recommendation G.729.** Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction (CS ACELP). – 1996.
7. **ITU-T Recommendation G.729 – Annex A.** Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction (CS ACELP), Annex A: Reduced complexity 8 kbit/s CS-ACELP speech codec. – 1996.


ГИУА. Материал поступил в редакцию 18.11.2004.

Հ.Կ. ԳԱՐԴԻՇՅԱՆ, Լ.Լ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

## IP ՑԱՆՑԵՐՈՒՄ ՁԱՅՆԱՅԻՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՄԱՆ ՄԵԿ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Առաջարկվում է ձայնային տվյալների մշակման խնդիրների կառավարման կատարելագործված ալգորիթմ՝ հատուկ թվային ազդանշանային պրոցեսորների հիման վրա: Հետազոտված են ձայնային տվյալների մշակման ալգորիթմերը և դրանց ձևափոխման հնարավորությունները: Մշակված է համակարգի մոդել, որի միջոցով ցույց է տրված տվյալների մշակման որակի բարձրացումը ծայրահեղ բեռնավորման պայմաններում՝ առաջարկվող սխեմային կիրառելու դեպքում:

**H.K. GARDISHYAN, L.L. HAROUTYUNYAN**

## AN APPROACH TO ORGANIZE VOICE DATA PROCESSING SYSTEMS IN IP NETWORKS

An enhanced algorithm is suggested for voice data processing task scheduling based on special digital signal processor in real time systems. Voice data processing algorithms and their modification possibility are studied. A model of the system illustrating the improvement of the data processing quality at the peak load in case of using the suggested algorithm is developed.