

УДК 681.3.06

## ПЛАНИРОВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Рязанцев А. И., Щербаков Е. В., Щербакова М. Е.

### SCHEDULING REAL-TIME TASKS IN MOBILE DEVICES

Ryazantsev A.I., Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E.

*Спроектирован и разработан диспетчер задач реального масштаба времени для мобильных устройств, работающих на базе операционной системы Android. Исследованы особенности планирования задач, подлежащих выполнению на современных мобильных устройствах. Отмечено, что в настоящее время для диспетчеризации задач чаще всего применяются скалярные критерии, приводящие к задержкам в работе мобильных устройств, вызванных конфликтами, возникающими при использовании общих ресурсов. Используемый в диспетчере алгоритм планирования задач по структурному критерию, предложенный авторами, обеспечивает функционирование в многозадачном режиме до 64-х задач с учетом важности каждой задачи, времени первого запуска и/или периода повторения задачи и другими характеристиками, которые назначаются индивидуально для каждой задачи.*  
**Ключевые слова:** Android, операционная система, задача, реальный масштаб времени, диспетчеризация задач, приоритет, фрагменты, провайдеры.

**1. Введение.** В настоящее время ОС Android [1] является наиболее популярной операционной системой. ОС Android, помимо обслуживания обычных смартфонов и планшетов, работает также во многих управляемых электроникой приборах и устройствах, таких как автомобили, спутники, игровые консоли, бытовая техника, средства безопасности, робототехника, промышленная и домашняя автоматизация и др. То есть, по всему миру буквально миллиарды Android-устройств под управлением ОС Android обеспечивают выполнение различных задач, в том числе и задач, функционирующих в режиме реального масштаба времени.

Важной отличительной особенностью управления вычислительным процессом в режиме реального масштаба времени является то, что для всех задач, подлежащих выполнению, заранее известны все основные характеристики, а также системные ресурсы, используемые во время их работы [2]. Это даёт возможность повысить эффективную производитель-

ность системы, если для планирования задач будут использоваться алгоритмы, обеспечивающие по сравнению с простейшими алгоритмами планирования более полную загрузку процессора и минимизирующие потери производительности из-за коллизий, возникающих при одновременной работе с общими системными ресурсами.

**2. Диспетчер задач реального времени для мобильных устройств.** Диспетчер задач реального масштаба времени обеспечивает функционирование в многозадачном режиме до 64-х задач в соответствии с важностью (приоритетом) каждой задачи, временем начального запуска и/или периодом повторения и другими характеристиками, устанавливаемыми индивидуально для каждой задачи. Задача, планирование выполнения и запуск которой осуществляется диспетчером, может быть пользовательской или системной службой, или же Android-приложением с одной или несколькими активностями [1].

Главное окно диспетчера, показанное на рис. 1, содержит прокручиваемый список с названиями задач, перечисленных в соответствии с их приоритетами, указываемыми в списке перед именами задач.

Один и тот же приоритет могут иметь несколько задач, в этом случае они располагаются в списке в порядке их добавления в подсистему, но планирование их на выполнение осуществляется по особому алгоритму, описанному ниже.

Каждая задача, функционирующая на мобильном устройстве под управлением диспетчера задач реального времени, описывается своим блоком управления, хранящим значения характеристик задачи и ее текущее состояние. На рис.2 представлено окно диспетчера с основными характеристиками задачи, которое появляется на экране устройства при касании строки с приоритетом и названием задачи в главном окне.



Рис. 1. Главное окно диспетчера с прокручиваемым списком задач

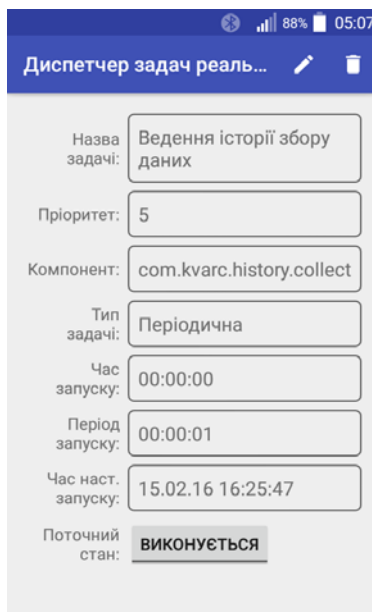


Рис. 2. Окно диспетчера с характеристиками выбранной в главном окне задачей

В нижней строке этого окна представлено текущее состояние задачи: находится она в состоянии выполнения или в остановленном состоянии. Так как это состояние отображается кнопкой – переключателем, пользователь в любой момент времени может изменить состояние задачи на противоположное, коснувшись этой кнопки в окне с характеристиками задачи.

Для запуска процедуры исключения задачи из списка планируемых на выполнение диспетчером нужно коснуться значка удаления, размещенного справа в заголовке окна с характеристиками задачи.

Для запуска процедуры исключения задачи из списка планируемых на выполнение диспетчером

нужно коснуться значка удаления, размещенного справа в заголовке окна с характеристиками задачи.

При касании значка редактирования в заголовке окна характеристик задачи на экран устройства вызывается другое окно, обеспечивающее модификацию значений характеристик запуска задачи на выполнение (рис. 3).

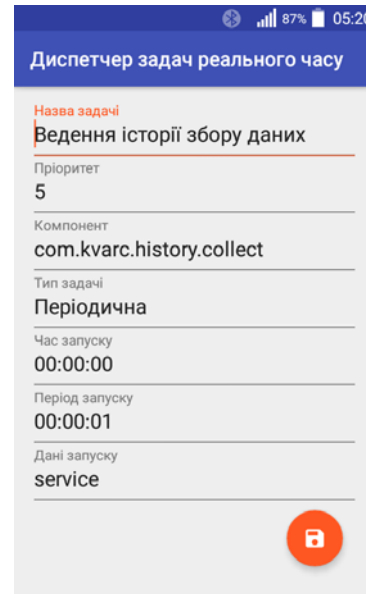


Рис. 3. Окно редактирования характеристик выбранной задачи

Для изменения какого-либо из значений достаточно прикоснуться к этому значению, после чего внизу экрана появляется клавиатура с соответствующим типом этого значения набором клавиш.

На рис. 4 представлено то же окно редактирования в режиме добавления к диспетчеру новой задачи.

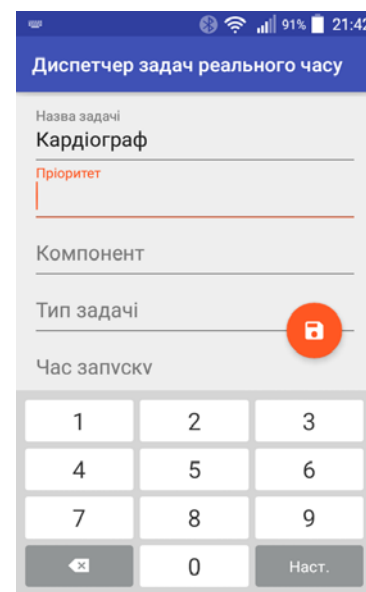


Рис. 4. Окно ввода характеристик для вновь добавляемой задачи

Такой вариант окна вызывается на экран устройства из главного окна при касании кнопки со знаком «+», размещенной внизу списка планируемых к выполнению задач.

Следует отметить, что для реализации представленных элементов внешнего интерфейса и внутренних алгоритмов были использованы, наряду с другими, следующие современные программные технологии разработки и функционирования на базе платформы Android:

- система управления базами данных SQLite для мобильных устройств;
- фрагменты, обеспечивающие взаимодействие частей нескольких экранов визуального интерфейса пользователя;
- провайдеры и получатели контента, обеспечивающие эффективный доступ к базе данных и всем другим системным приложениям и службам Android-устройства;
- новые стили оформления пользовательского интерфейса.

Для оптимизации выполнения в рамках ОС Android комплекса задач с описанными выше характеристиками был использован разработанный авторами алгоритм планирования задач по структурному критерию, главные особенности которого описываются ниже.

**3. Алгоритм планирования задач по структурному критерию.** Самыми простыми и часто применяемыми дисциплинами обслуживания являются хорошо известные даже из повседневного быта беспriorитетная дисциплина «первый пришёл – первый обслужился» и дисциплина обслуживания в порядке старшинства приоритетов. Применительно к дисциплине выбора задач на решение это значит, что выбирается задача, раньше всех пришедшая в очередь или имеющая высший приоритет. Такая дисциплина требует линейного упорядочения всех подлежащих выполнению задач, что для сложных систем реального масштаба времени, в которых для установления старшинства между задачами требуется учитывать несколько несравнимых между собой показателей, может оказаться нецелесообразным. В то же время возможность параллельного выполнения в ОС Android нескольких задач позволяет перейти от их линейного упорядочивания по одному, скалярному критерию к структурному, т. е. к планированию задач сразу по группе критериев. При этом очередность устанавливается не между отдельными задачами, а между группами равноценных задач. Такой подход не даёт никаких преимуществ, если для упорядочивания очереди задач имеется только один числовой показатель, но открывает новые возможности, если таких показателей несколько.

Показателями, характеризующими задачу, могут являться: приоритет, период повторения задачи, объём оперативной памяти, занимаемой задачей, время её решения, интенсивность работы с таблицами баз данных, время занятости каналов

связи для получения значений технологических параметров от серверов и т. д. Может быть установлен порядок решения задач по каждому из показателей, но информация, необходимая для сравнения этих показателей между собой, как правило, отсутствует. Одна задача может требовать большого времени для работы с таблицами баз данных, малого времени занятости каналов связи и среднего времени решения, другая – малого времени для работы с таблицами баз данных, большого времени занятости каналов связи и большого времени решения. Как сравнить такие задачи?

Рассмотрим методику сравнения задач, характеризующихся несколькими числовыми свойствами.

Для каждой задачи поместим значения всех её свойств в специальную структуру [1], называемую блоком управления задачей (tcb). При этом список всех задач, обрабатываемых алгоритмом планирования, будет представляться массивом структур размерности  $N$  ( $tcn[N]$ ), где  $N$  – число всех задач. Будем считать, что задача  $tcn[i]$  строго предпочтительнее задачи  $tcn[k]$ , если задача  $tcn[i]$  превосходит задачу  $tcn[k]$  хотя бы по одному свойству ( $tcn[i].j > tcn[k].j$ ), а по всем остальным не хуже неё. Например, пусть задача  $tcn[1]$  характеризуется следующими свойствами: число обращений к таблицам базы данных истории - 14, время решения - 9 секунд, задача  $tcn[2]$  - 14 и 6 секунд соответственно. И пусть «лучшей» считается та задача, у которой число обращений к таблицам баз данных и время решения меньше. Тогда задача  $tcn[2]$  будет строго предпочтительнее задачи  $tcn[1]$ , так как по второму свойству она лучше, а значения первого свойства у обеих задач одинаковы.

Будем считать, что задачи  $tcn[i]$  и  $tcn[k]$  несравнимы между собой, если задача  $tcn[i]$  превосходит задачу  $tcn[k]$  по значениям одних свойств, а задача  $tcn[k]$  превосходит задачу  $tcn[i]$  по значениям других. Например,  $tcn[1] = \{14, 8\}$  и  $tcn[2] = \{16, 7\}$  несравнимы между собой. Независимо от того, считается ли «лучшим» большее значение свойства или меньшее, сравнивать эти задачи без дополнительной информации мы не можем.

Отсутствие требования линейного упорядочения задач в списке позволяет объединить некоторые несравнимые и эквивалентные задачи в одну группу и этой группе присвоить номер (ранг), определяющий порядок выполнения: чем меньше номер, тем выше ранг группы задач.

Для определения рангов задач в списке введём булеву переменную

$$tcn[i].p[j] = \begin{cases} 1, & \text{если задача } tcn[i] \text{ строго} \\ & \text{предпочтительнее задачи } tcn[j]; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В структуру, представляющую блок управления задачей, введём набор одноразрядных

полей, значениями которых будут булевы переменные  $tcn[i].p[j]$  ( $0 \leq j \leq N-1$ ). Слова  $p$ , представляющие эти булевы переменные в каждой структуре, в совокупности образуют квадратную матрицу, элементами которой являются переменные  $tcn[i].p[j]$ . Из определения  $tcn[i].p[j]$  следует, что единицы в  $i$ -й строке матрицы определяют задачи  $tcn[j]$ , по отношению к которым  $tcn[i]$  строго предпочтительнее. Поэтому если в  $j$ -м столбце стоят все нули, то, значит, нет задачи, которая была бы строго предпочтительнее задачи  $tcn[j]$ . Рассмотренные свойства задач и метод построения матрицы позволяют осуществлять их упорядочивание. Рассмотрим пример.

Пусть в списке имеется девять задач. Каждая задача характеризуется тремя свойствами: временем решения, количеством обращений к таблицам базы данных истории и временем использования каналов связи для получения оперативных данных. Значения свойств задач приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства задач		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер задачи										
Свойство 1 (приоритет задачи)		3	1	2	6	7	2	4	2	9
Свойство 2 (время решения задачи, мсек)		15	10	17	7	28	16	19	17	11
Свойство 3 (число обращений к таблицам базы данных истории)		7	21	27	4	2	22	8	23	21

Построим булеву матрицу с элементами  $tcn[i].p[j]$  (табл. 2). Для этого значения свойств задачи  $tcn[i]$  будем вычитать из значений соответствующих свойств задачи  $tcn[j]$ .

Таблица 2

Булева матрица для определения рангов задач

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	1	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	0	1	0	0	0	0	0

В табл. 2 цифры первого столбца и первой строки обозначают номера задач. Для того чтобы определить группу задач первого ранга, достаточно найти столбцы, в которых стоят только нули. Такими столбцами будут 3-й, 5-й, 7-й и 9-й. Задачи с этими номерами получают ранг 1. Эти задачи и должны быть выбраны на решение. Какая из этих четырех задач должна идти раньше других, без дополнительной информации определить нельзя,

поэтому такие задачи должны выполняться в режиме квантования.

Определим группу 2-го ранга. Вычеркнем из матрицы столбцы 3, 5, 7, 9 и соответствующие им строки. В полученной матрице опять найдём столбцы, содержащие только нули. Задачам, соответствующим этим столбцам, присвоим ранг 2. Так же определяется группа задач ранга 3 и т.д.

Методика планирования по структурному критерию с учётом несовместимости задач по используемым ресурсам может быть реализована с помощью следующего простого алгоритма.

С целью предотвращения одновременного запуска на выполнение несовместимых между собой задач, для всех находящихся на выполнении и готовых к выполнению задач поддерживается симметричная булева матрица, каждый элемент которой определяется следующим образом:

$$tcn[i].r[j] = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-я задача совместима по} \\ & \text{используемым ресурсам с } j\text{-й задачей;} \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

Процедура выбора задач на выполнение заключается в следующем. Просматриваются строки матрицы совместимости задач, помеченные номерами выполняемых задач. Отмечаются все столбцы матрицы, в которых в выделенных строках находятся единичные значения. Номера этих столбцов определяют задачи, совместимые с выполняемыми. Среди них и выбираются задачи с наиболее высоким рангом для выполнения. При завершении выполнения какой-либо задачи из матрицы совместимости задач удаляются соответствующие строка и столбец, и для свободных процессоров выбираются задачи в соответствии с откорректированной матрицей.

**5. Заключение.** Представленный диспетчер задач реального времени для мобильных устройств на базе ОС Android спроектирован и реализован на современном уровне с использованием таких мобильных компьютерных технологий, как СУБД SQLite для мобильных устройств, фрагменты, обеспечивающие взаимодействие частей нескольких экранов визуального интерфейса пользователя, провайдеров контента, обеспечивающих эффективный доступ к базе данных и другим приложениям Android-устройства, новые стили оформления пользовательского интерфейса.

Использование методики планирования выполнения задач по структурному критерию при реализации диспетчера задач реального времени дало возможность сократить потери времени мобильного устройства на выполнение задач примерно на 15%, что положительно влияет на пользовательские характеристики, в том числе на реактивность пользовательского интерфейса Android-устройства. Это было достигнуто, в первую очередь, за счёт уменьшения непроизводительных

простоев задач в очередях ожидания освобождения последовательно используемых ресурсов, таких как экран мобильного устройства, общие таблицы баз данных, общие каналы связи и т. д.

#### Л и т е р а т у р а

1. Dave MacLean Pro Android 5 / Dave MacLean, Satya Komatineni, Grant Allen. - Springer Science+Business Media, New York, 2015. – 813 pp.
2. Щербаков Є. В. Автоматизоване проектування ППО КСУ на базі пакета програм «КВАРЦ» / Щербаков Є. В., Щербакова М. Є., Охромович В. К. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун. ім. В. Даля, 2003. – 200 с.

#### R e f e r e n c e s

1. Dave MacLean Pro Android 5 / Dave MacLean, Satya Komatineni, Grant Allen. - Springer Science+Business Media, New York, 2015. – 813 pp.
2. Shcherbakov E.V. Avtomatyzovane proektuvannya PPO KSU na bazi paketa program "KVARTS" / Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E., Okhramovich V.K. – Luhansk: Vyd-vo Shidnoukr. nats. un. im. V. Dalya, 2003. – 200 с.

#### Рязанцев О. І., Щербаков Є. В., Щербакова М. Є. Планування виконання задач реального часу в мобільних пристроях

*Спроектований та розроблений диспетчер задач реального виміру часу для мобільних пристроїв, працюючих на базі операційної системи Android. Досліджені особливості планування задач, які підлягають виконанню на сучасних мобільних пристроях. Відмічено, що в даний час для диспетчеризації задач найчастіше застосовуються скалярні критерії, що призводить до затримок в роботі мобільних пристроїв, спричинених конфліктами, що виникають при використанні спільних ресурсів. Використаний в диспетчері алгоритм планування задач за структурним критерієм, запропонований авторами, забезпечує функціонування в багатозадачному режимі до 64-х задач з урахуванням важливості кожної задачі, часом першого запуску та/або*

*періодом повторення задачі та іншими характеристиками, що призначаються індивідуально для кожної задачі.*

**Ключові слова:** Android, операційна система, задача, реальний вимір часу, диспетчеризація задач, фрагменти, провайдери..

#### Ryazantsev A.I., Shcherbakov E.V., Shcherbakova M.E. Scheduling real-time tasks in mobile devices

*Designed and developed RT Task Scheduler for mobile devices running on the Android operating system. Were analyzed the features of scheduling tasks to be performed on modern mobile devices. It is noted that at the present time for scheduling tasks often scalar criteria are applied, leading to delays in the work of mobile devices, due to the conflicts that arise when using shared resources. Used in Task Scheduler scheduling algorithm on structural criteria proposed by the authors, it operates multitask up to 64 tasks, taking into account the importance of each task, the time of the first start-up and / or the repetition period of the tasks and other characteristics that are assigned individually for each task.*

**Keywords:** Android, operating system, task, real-time, scheduling of tasks, priority, fragments, providers.

**Рязанцев Александр Иванович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой компьютерной инженерии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, a\_gyazancev@mail.ru

**Щербаков Евгений Васильевич** - к.т.н., доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, gkvarc@gmail.com

**Щербакова Марина Евгеньевна** – к.т.н., доцент, доцент кафедры компьютерной инженерии, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, ms432@mail.ru

*Рецензент:* д.т.н., професор **Суворін О.В.**

Стаття подана 05.10.2016