

На правах рукописи



Шамин Алексей Алексеевич

**Динамическая адаптация вычислительного процесса
микропроцессорного терминала для управления
передачей метеоанных.**

Специальность: 05.13.11 – *«Математическое
и программное обеспечение вычислительных машин,
комплексов и компьютерных сетей».*

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Томск – 2009

**Работа выполнена в ГОУ ВПО «Томский Политехнический
Университет»**

Научный руководитель:

**Сонькин Михаил Аркадьевич,
кандидат технических наук, доцент**

Официальные оппоненты:

**Ехлаков Юрий Поликарпович,
доктор технических наук, профессор**

**Комагоров Владимир Петрович,
кандидат технических наук, доцент**

Ведущая организация:

**Институт вычислительной математики
и математической геофизики
Сибирского отделения РАН,
г. Новосибирск**

**Защита диссертации состоится «21» января 2010 г. в 15:00 ч на
заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций
Д212.269.06 при Томском политехническом университете по адресу:
634034, г. Томск, ул. Советская, 84/3, институт «Кибернетический центр»
ТПУ, ауд. 214.**

**С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск,
ул. Белинского, 53.**

Автореферат разослан «__» ноября 2009 г.

**Ученый секретарь
совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций
к.т.н., доцент**


_____ **М.А.Сонькин**

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы.

Система сбора и передачи метеоданных «АПК-Метео» получила широкое распространение в гидрометеорологических службах России и некоторых стран ближнего зарубежья.

В качестве абонентов нижнего уровня системы «АПК-Метео» применяются специализированные микропроцессорные терминалы семейства ВИП, позволяющие организовать удобный ввод данных пользователем или же работающие в автоматическом или полуавтоматическом режиме формирования сообщений. Для повышения надёжности доставки сообщений, каждый микропроцессорный терминал, как правило, имеет несколько дублирующих каналов связи, часто весьма различных по своим характеристикам (скорости, надёжности, стоимости и т. п.). В связи с большим количеством абонентов, территориальной распределённостью, разнородностью каналов связи, возникает задача выбора алгоритма передачи сообщений, отвечающего некоторым заданным критериям, например минимальной стоимости передачи сообщения, минимального времени доставки сообщения и др.

Одним из вариантов решения задачи выбора алгоритма передачи сообщений является обеспечение динамической адаптации вычислительного процесса управления каналами связи к меняющемуся во времени качеству каналов. Под термином «динамическая адаптация вычислительного процесса» в данном случае понимается настройка вычислительного процесса в реальном масштабе времени с целью выбора алгоритма передачи сообщений. Под термином «вычислительный процесс» в данном случае понимается совокупность программных средств, обеспечивающих решение поставленной задачи. Под термином «качество канала связи» понимается вероятность ошибки передачи единицы информации по данному каналу связи.

Задача создания алгоритмов динамической адаптации вычислительного процесса управления каналами связи к меняющемуся во времени качеству каналов является актуальной, поскольку её решение позволяет осуществить автоматический выбор алгоритма передачи сообщения и, как следствие, повысить эффективность работы как отдельного микропроцессорного терминала так и системы передачи метеоданных в целом.

Терминалы семейства ВИП прошли в своём развитии несколько этапов:

- Аппаратно-программная реализация режимов пакетной передачи данных по КВ, УКВ радиоканалам.
- Серия ВИП-М, в которой осуществлена аппаратно-программная реализация режимов пакетной передачи данных с использованием различных каналов связи (телефонный, телеграфный, спутниковые каналы систем «ГОНЕЦ» и «ГлобалСтар»).
- Серия ВИП-МК, поддерживающая Internet-каналы связи (локальную сеть, GPRS, Inmarsat BGAN и другие), представляющие собой полноценные специализированные микрокомпьютеры с POSIX–совместимой операционной системой Linux.

Терминалы семейства ВИП (ВИП-М, ВИП-МК) предназначены как для работы под управлением оператора, так и в автоматическом режиме, что позволяет использовать их в составе аппаратуры автоматических метеостанций.

Проведённый анализ существующих решений и готовых систем показал целесообразность разработки алгоритмов и программных средств, динамически адаптирующихся к изменяющемуся во времени состоянию каналов связи и позволяющих автоматически осуществлять выбор алгоритма передачи сообщения. Разработка таких средств позволит решить несколько актуальных в научном и практическом отношении задач:

- Разработать алгоритмы динамической оценки качества каналов связи.
- Автоматизировать поиск критерия, согласно которому осуществляется выбор алгоритма для передачи сообщения (назовём его – «критерий выбора алгоритма передачи сообщения»).
- Осуществить адаптивный выбор алгоритма для передачи сообщения.

Таким образом, обеспечивается решение комплекса актуальных задач динамической адаптации вычислительного процесса управления каналами связи в системе передачи метеоданных с целью автоматизации выбора алгоритма передачи сообщения. При этом должны обеспечиваться: автоматическая классификация передаваемых сообщений; автоматическое определение критерия выбора алгоритма передачи сообщения; динамическое оценка качества каналов связи, меняющегося во времени; адаптивный выбор алгоритма передачи сообщения, в зависимости от класса сообщения и качества каналов связи в текущий момент времени.

Цель работы.

Целью диссертационной работы является исследование проблем, разработка алгоритмов и программных средств повышения эффективности передачи метеоданных микропроцессорным терминалом за счёт динамической адаптации вычислительного процесса к изменяющемуся состоянию каналов связи.

Для реализации поставленной цели в диссертационной работе сформулированы и решены следующие задачи:

- Разработка способов и алгоритмов динамической оценки качества каналов связи, не зависящих от физической природы канала.
- Разработка способов адаптивного выбора алгоритма для передачи сообщения, основанного на вычислении динамической оценки качества каналов связи.
- Разработка алгоритма автоматической классификации сообщений и определения критерия выбора алгоритма передачи.
- Разработка структуры программного обеспечения и специализированного ПО с функциями динамической оценки качества каналов связи, классификации сообщений и адаптивного выбора алгоритма передачи каждого конкретного сообщения.
- Апробация разработанного алгоритмического и программного обеспечения в составе микропроцессорного терминала.

Методы исследования.

При проведении исследований и разработке алгоритмического и программного обеспечения с целью решения поставленных в диссертационной работе задач использованы методы теории информации, теории алгоритмов, теории вероятностей, теории программирования.

Получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Созданы новые алгоритмы динамической оценки качества каналов связи, позволяющие адаптировать вычислительный процесс к динамически изменяющемуся качеству каналов связи на основе статистической информации вне зависимости от физической природы канала.
2. Разработан новый способ адаптивного выбора алгоритма для передачи сообщения, ориентированный на передачу метеоданных.
3. Применены новые алгоритмы расчёта ожидаемой стоимости и времени передачи сообщения по заданному каналу связи при заданной вероятности ошибки передачи единицы информации по этому каналу.

4. Разработана оригинальная структура специализированного программного обеспечения интеллектуального микропроцессорного терминала ВИП-МК, обеспечивающая унификацию интерфейса между разнородными программными модулями.

Практическая ценность результатов работы.

1. Разработанные алгоритмы обеспечивают динамическую адаптацию вычислительного процесса терминала ВИП-МК, управляющего передачей данных по каналам связи, к динамически изменяющемуся качеству каналов.
2. Разработанные алгоритмы классификации сообщений позволяют однозначно классифицировать сообщение несколькими способами. Возможность выбора способа классификации сообщений позволяет использовать разработанные алгоритмы как на автоматических, так и на автоматизированных метеостанциях и метеопостах.
3. Разработанные способы расчёта ожидаемых стоимости и времени передачи сообщения в сочетании с алгоритмами динамической оценки качества каналов связи позволяют выбрать алгоритм передачи для каждого отдельного сообщения.
4. Программное обеспечение, реализующее разработанные алгоритмы, внедрено в составе широко тиражируемого микропроцессорного терминала ВИП-МК, разработанного инновационно-технологическим предприятием ООО «ИНКОМ», в рамках следующих программ: программе РФФИ № 05-07-98006 «Разработка и создание аппаратно-программного комплекса сбора, обработки и передачи гидрометеорологической информации для Кустового информационного центра»; Федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года», мероприятие 21; а так же в рамках проекта РНМ/1/В.1.а «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета».

Обоснованность и достоверность полученных научных результатов диссертационной работы и созданных программных средств управления каналами связи микропроцессорного терминала ВИП-МК подтверждены положительными актами результатов внедрений.

Обоснованность предложенных автором алгоритмов динамической оценки качества каналов связи, классификации сообщений, адаптивного

выбора алгоритма передачи сообщения обеспечивается использованием методов теории информации, теории алгоритмов, теории вероятностей, теории программирования при постановке и решении поставленных задач. Эффективность реализованных алгоритмов подтверждена также результатами практических экспериментов.

Личный вклад.

1. Постановка задач исследования и разработка динамической модели канала связи выполнены автором совместно с к.т.н., М.А. Сонькиным.
2. Алгоритмы классификации сообщений, позволяющие определять тип сообщения как явным указанием, так и на основе содержимого сообщения выполнены автором совместно с Р.Л. Тогидним.
3. Разработка технологии динамической оценки качества каналов связи выполнены лично автором.
4. Разработка структуры программного обеспечения и функциональное разбиение его на модули выполнено лично автором.
5. Реализация программного обеспечения, управляющего передачей информации по каналам связи, выполнена автором совместно с М.С. Кроликовым.
6. Реализация программного обеспечения адаптивного выбора алгоритма передачи сообщения выполнена лично автором.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Предложенные способы динамической адаптации вычислительного процесса, управляющего передачей метеоданных по каналам связи, обеспечивают автоматический выбор рационального алгоритма передачи сообщения на основе динамической оценки качества каналов связи.
2. Разработанные алгоритмы динамической оценки качества каналов связи обеспечивают учёт изменений во времени качества каналов при расчёте ожидаемых параметров передачи сообщения.
3. Предложенная структура программного обеспечения является оригинальной и позволяет реализовать унифицированный интерфейс между программными модулями.
4. Разработанные оригинальные, динамически адаптирующиеся к изменяющемуся качеству каналов связи, алгоритмы позволяют выбрать алгоритм, обеспечивающий передачу метеоданных согласно заданному критерию.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Молодежь и современные информационные технологии. V Всероссийская научно-практическая конференции студентов, аспирантов и молодых учёных – Томск, 27 февраля – 1 марта 2007; Молодежь и современные информационные технологии. VI Всероссийская научно-практическая конференции студентов, аспирантов и молодых учёных – Томск, 26–28 февраля 2008.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных сокращений и определений, списка литературы и шести приложений. Объем диссертации составляет 143 страницы, в том числе 128 страниц основного текста, 25 рисунков, 10 таблиц и 75 наименований литературы.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируется цель исследования, приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе проведён анализ особенностей, отличающих системы передачи метеоданных от других подобных систем.

Сформулирована в общем виде основная задача, решаемая системой передачи метеоданных при передаче сообщения: «адаптивный выбор алгоритма передачи сообщения, производящийся на основании класса срочности сообщения и динамической оценки качества каналов связи».

Проведён анализ систем передачи метеоданных, представленных на российском рынке.

Проведённый анализ существующих многоканальных систем передачи данных привёл к выводу об отсутствии аппаратно-программных средств, позволяющих решить задачу автоматического выбора алгоритма передачи метеоданных.

На основе проведённого анализа сформированы основные требования по модификации структуры программного обеспечения микропроцессорного терминала ВИП-МК. Варианты прежней и модифицированной структур приведены на Рис. 1 (а) и (б) соответственно.

Сделан вывод, что сформированные требования по модификации программного обеспечения микропроцессорного терминала ВИП-МК позволяют решить поставленную задачу автоматического выбора алгоритма передачи метеоданных.

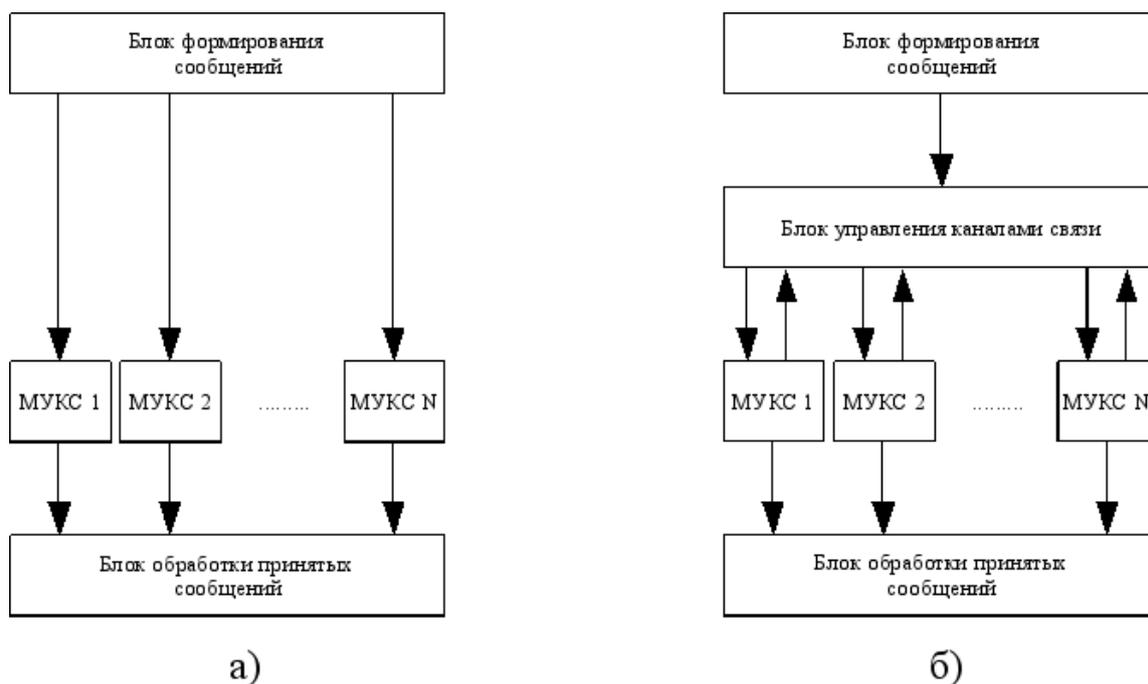


Рис. 1: Структура программного обеспечения ВИП-МК. а) – не модифицированная; б) – модифицированная

Вторая глава посвящена разработке модели системы передачи метеоданных и алгоритмов функционирования абонентов этой системы.

На основе анализа структуры системы передачи метеоданных сделан вывод о том, что сообщения для каждого канала связи конкретного абонента проходят всегда по одному фиксированному маршруту, что позволяет не учитывать маршрут передачи сообщения.

Под структурой системы передачи метеоданных в данном случае понимается совокупность связей между абонентами данной системы.

Выработан *способ определения типа (формата) сообщений*, формируемых как пользователями, так и автоматически. *Способ определения типа сообщения* основан на анализе текста сообщения (строки) и сравнении его с *шаблонами*, описывающими каждый тип сообщения.

Определение. *Шаблон* – описание подмножества строк, позволяющее, путём сравнения строки и шаблона по определённым правилам, определить – относится или нет данная строка к определяемому шаблоном подмножеству строк.

Определение. *Значимость шаблона* – количество однозначно определённых символов шаблона.

Показано, что при указанном способе сравнения шаблона и строки возникает неоднозначность определения формата в случае соответствия анализируемой строки нескольким шаблонам. Для устранения возник-

кающей неоднозначности определения формата выбирается тот формат, шаблон которого имеет наибольшую значимость из всех, шаблонов, соответствующих анализируемой строке.

Разработанный способ определения типа сообщений применяется только при отсутствии явного указания на тип сообщения (например, при получении сообщения от некоторых видов автоматических станций). На основе предложенного способа определения типа сообщения разработан **алгоритм определения типа (формата) сообщения**. Входными данными алгоритма являются: S – множество шаблонов, содержащее указание, какому формату сообщения какой шаблон соответствует; M – сообщение, формат которого необходимо определить. При анализе текста сообщения, которому изначально присвоен тип $NULL$ (тип не определён), производится поиск всех шаблонов, соответствующих данному сообщению $s \in S$. Если таких шаблонов не найдено ($s = \{\emptyset\}$), то сообщение считается искажённым и ему присваивается тип $WRONG$ (тип невозможно определить). Если найдено несколько шаблонов, соответствующих анализируемому сообщению, то выбирается тип сообщения, соответствующий шаблону, имеющему наибольшую значимость $z = \max(Z(s))$. Вычислительная сложность алгоритма определения типа сообщения в наихудшем случае $O(m) + O(n \cdot m)$, где n – длина строки (сообщения), m – количество возможных типов сообщений (количество шаблонов) при условии, что длина всех шаблонов – одинакова.

Показано однозначное соответствие для метеоанных критерия выбора алгоритма передачи сообщения классу срочности передаваемого сообщения. C – стоимость передачи сообщения, t – время доставки сообщения по каналу связи, t_{act} – время актуальности данных сообщения, K – совокупность характеристик всех имеющихся каналов связи в текущий момент времени, $t_{II}(K)$ – зависимость времени доставки сообщения от K , $C_{II}(K)$ – зависимость стоимости доставки сообщения от K .

- 1) Регламентируемое экстренное сообщение. Передаётся по всем каналам связи одновременно с целью выполнения условия $t \rightarrow \min(t_{II}(K))$.
- 2) Регламентируемое сроками сообщение. Передаётся по каналу с минимальной стоимостью $C \rightarrow \min(C_{II}(K))$ при ограничении на время доставки сообщения $t < t_{act}$.
- 3) Прочие сообщения. Передаются по каналу с минимальной стоимостью доставки сообщения с целью выполнения условия $C \rightarrow \min(C_{II}(K))$.

Для классификации сообщений по категории срочности (регламентируемое сроком, регламентируемое экстренное, прочее) предложен **способ классификации сообщений по категории срочности**. В основу способа положен комплексный анализ метаданных сообщения, его содержимого и регламента отправки сообщений.

На основе предложенного способа разработан **алгоритм классификации сообщений**. Входными данными алгоритма классификации сообщений являются:

- $STBL[N]$ – таблица описаний передачи регламентируемых сроками сообщений. N - количество сроков. Таблица имеет N строк, каждая из которых соответствует одному сроку передачи сообщения и содержит: t_{si} – время начала срока; t_{ai} – время актуальности данных; $MTYPE_i$ – тип сообщения, передаваемого в данный срок; $TMPL_i$ – строка-шаблон сообщения, передаваемого в данный срок; i – номер строки таблицы.
- $ITBL[M]$ – таблица описаний регламентируемых экстренных сообщений. Таблица имеет M строк, каждая из которых описывает один тип возможного регламентируемого экстренного сообщения и содержит: $MTYPE_j$ – тип сообщения, передаваемого в данный срок; $TMPL_j$ – строка-шаблон сообщения; j – номер строки таблицы.
- $M_{сообщ}[L]$ – текст сообщения (символьная строка известной длиной L символов).
- t – текущее время.

Выходными данными алгоритма классификации сообщений являются: класс срочности сообщения $MCLASS:(MCLS, MCLI, MCLO)$.

Действие 1. Определяется тип сообщения $MTYPE$ (см. *алгоритм определения типа сообщения*).

Действие 2. В таблице $ITBL[M]$ производится поиск строк, для которых выполняется условие $MTYPE_j = MTYPE$. Если такие строки не найдены – переход к **действию 4**.

Действие 3. Для каждой из найденных строк таблицы $ITBL[M]$ проверяется соответствие сообщения $M_{сообщ}[L]$ шаблону $TMPL_j$. Если найден хотя бы один шаблон, соответствующий данному сообщению, то сообщение имеет класс «**регламентируемое экстренное**» $MCLASS := MCLI$, **конец алгоритма**.

Действие 4. В таблице $STBL[N]$ производится поиск строк, для которых выполняется условие $t_{si} < t < (t_{si} + t_{ai})$. Если такие строки найдены –

переход к **действию 5**. Если таких строк не найдено – сообщение относится к классу «**прочие сообщения**» $MCLASS:=MCL0$, **конец алгоритма**.

Действие 5. Для всех строк таблицы $STBL[N]$, удовлетворяющих условию $t_{si} < t < (t_{si} + t_{ai})$ производится сравнение текста сообщения $M_{сообщ}[L]$ с шаблоном $TMPL_i$ по правилу сравнения регулярных выражений. Если есть хотя бы одно успешное сравнение, то сообщение имеет класс «**регламентируемое сроком**» $MCLASS:=MCLS$, **конец алгоритма**. Если таких строк не найдено – сообщение относится к классу «**прочие сообщения**» $MCLASS:=MCL0$, **конец алгоритма**.

Сложность предложенного **алгоритма классификации сообщений** растёт линейно в зависимости от размера входных данных.

Проведена классификация каналов связи с целью выбора минимального подмножества параметров для формализованного описания канала связи, позволяющих определить время передачи сообщения и его стоимость.

В качестве таких параметров выбраны:

- $TYPE_k$ – тип канала;
- t_{0k} – время передачи единицы информации;
- t_{nk} – время переключения приём-передача;
- t_{ymk} – время установления соединения;
- Cv_{0k} – стоимость передачи единицы информации;
- Ct_{0k} – стоимость единицы времени соединения;

Сделан вывод, что данные параметры позволяют описывать существующие каналы связи в необходимой степени.

На основании анализа различных источников показано, что существующие, практически применимые в данном случае, способы оценки качества цифровых каналов связи сводятся к вычислению вероятности ошибки передачи единицы информации (или эквивалентной величины – вероятности доставки единицы информации).

Предложен **способ динамической оценки качества каналов связи** для расчёта ожидаемой стоимости и времени передачи сообщения. В основу данного способа положено накопление статистической информации о качестве каждого канала связи. На основании предложенного способа разработан **алгоритм динамической оценки качества каналов связи, изменение состояния которых носит аperiodический характер**. Входными данными алгоритма являются:

- Lc_k – длина переданного сообщения по каналу k ;
- r_k – результат передачи сообщения; $r_k=1$, если сообщение не

доставлено (ошибка передачи сообщения); $r_k = 0$, в противном случае;

Действие 1. Корректируется суммарная длина сообщений, переданных по каналу k (1):

$$L_k := L_k + Lc_k; \quad (1)$$

Действие 2. Корректируется число сообщений, переданных с ошибками по каналу k (2):

$$NE_k := NE_k + r_k; \quad \text{где } r_k = \begin{cases} 1, & \text{если сообщение не доставлено;} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (2)$$

Действие 3. Вычисляется новое значение вероятностной оценки ошибки передачи сообщения единичной длины по каналу k (3):

$$P_{err0k} = \frac{NE_k}{L_k}; \quad (3)$$

Предложен **способ прогнозирования периодически изменяющегося состояния каналов связи**, основанный на сборе статистической информации, применяемый для расчёта ожидаемой стоимости и времени передачи сообщения.

Способ прогнозирования периодически изменяющегося состояния каналов связи. В основу способа положено допущение о том, что вероятность ошибки передачи сообщения по каналу связи изменяется периодически. Это справедливо для многих типов каналов связи – например радиоканала, каналов спутниковой связи и т.п. Для каждого канала k задаётся период прогнозирования T_k . Период разбивается на N_k равных интервалов. Сбор статистических данных для переданных с ошибкой и переданных корректно сообщений ведётся для каждого интервала периода отдельно. Таким образом, информация о каждом интервале предыдущих периодов прогнозирования позволяет предсказать состояние канала связи в текущий момент времени. Подсчитывается суммарная длина сообщений, переданных в каждый интервал периода прогнозирования и число сообщений, переданных с ошибками. На основе этих данных, для каждого интервала периода прогнозирования производится вычисление вероятностной оценки ошибки передачи единицы информации по формуле (4), где k – канал связи; t – время, соответствующее интервалу i периода прогнозирования; N_{kj} – результат передачи j -го сообщения по каналу k ; L_{kj} – длина j -го сообщения переданного по каналу k .

$$P_{err0}(k,t) \Big|_{t \in i} = \frac{\sum_{j=1..N(k)} N_{kj}}{\sum_{j=1..N(k)} L_{kj}}; \quad \text{где } N_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-е сообщение не доставлено} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (4)$$

На основе предложенного способа разработан алгоритм прогнозирования периодически изменяющегося состояния каналов связи.

Алгоритм прогнозирования периодически изменяющегося состояния каналов связи. Для каждого из каналов связи определяется:

T_k – период прогнозирования канала k .

N_k – число интервалов, на которое разбивается период прогнозирования канала k .

$L_k[N_k]$ – массив из N_k целых чисел. Каждый элемент массива есть суммарная длина сообщений, переданных за соответствующий интервал периода прогнозирования канала k .

$NE_k[N_k]$ – массив из N_k целых чисел. Каждый элемент массива есть количество сообщений, переданных с ошибкой за соответствующий интервал периода прогнозирования канала k .

$P_{err0k}[N_k]$ – массив из N неотрицательных вещественных чисел. Каждый элемент массива есть вычисленная вероятностная оценка ошибки передачи сообщения единичной длины в соответствующем интервале периода прогнозирования канала k .

Значения $L_k[N_k]$, $NE_k[N_k]$ и $P_{err0k}[N_k]$ в соответствии с алгоритмом корректируются при каждой передаче сообщения по данному каналу. Алгоритм состоит из 4 действий:

Действие 1. Определяется к какому интервалу периода прогнозирования принадлежит текущий момент времени по формуле (5):

$$i_k = [t_k \text{ mod } T_k] \text{ div } [T_k \text{ div } N_k]; \quad (5)$$

где i_k – номер интервала периода прогнозирования $i_k \in [0 \dots N_k - 1]$;

функция $a \text{ mod } b$ – остаток от деления a на b ;

функция $a \text{ div } b$ – целочисленное деление a на b ;

Действие 2. Корректируется суммарная длина сообщений, переданных в i_k – м интервале периода прогнозирования (6):

$$L_k[i] := L_k[i] + Lc_k; \quad (6)$$

где Lc_k – длина переданного сообщения;

Действие 3. Корректируется число сообщений, переданных с ошибками в i_k – м интервале периода прогнозирования (7):

$$NE_k[i_k] = NE_k[i_k] + r_k; \text{ где } r_k = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-е сообщение не доставлено;} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (7)$$

Действие 4. Вычисляется новое значение вероятностной оценки ошибки передачи сообщения единичной длины в i_k -м интервале периода прогнозирования (8):

$$P_{err0k}[i_k] = \frac{NE_k[i_k]}{L_k[i_k]}, \quad (8)$$

Предложен способ вычисления ожидаемой стоимости и времени передачи сообщения, основанный на расчёте оценочной вероятности ошибки передачи сообщения единичной длины по заданному каналу связи. На основе величины вероятностной оценки ошибки передачи сообщения единичной длины, полученной (в зависимости от типа $TYPE_k$ канала связи k) одним из вышеприведённых способов, вычисляется необходимое число повторов передачи n_k сообщения длины L для достижения заданной вероятности доставки сообщения P_s (9).

$$n_k = \frac{\ln(1 - P_s)}{\ln[1 - (1 - P_{err0k})^L]} + 1; \quad (9)$$

Ожидаемая стоимость передачи сообщения (10):

$$C_k = C_{k0}(L) \cdot n; \quad (10)$$

где C_k – ожидаемая стоимость передачи сообщения по каналу k ; $C_{k0}(L)$ – стоимость одной попытки передачи сообщения длины L по каналу k .

Ожидаемое время передачи сообщения (11):

$$t_k = t_{k0}(L) \cdot n; \quad (11)$$

где t_k – ожидаемое время передачи сообщения по каналу k ; t_{k0} – время одной попытки передачи сообщения длины L по каналу k ;

Разработан общий **алгоритм управления каналами связи**. Алгоритм основан на предложенных способах определения типа сообщения и прогнозирования периодически изменяющегося состояния каналов связи, разработанные алгоритмы расчёта ожидаемых времени и стоимости передаваемого сообщения. Общее описание алгоритма:

Действие 1. Определение класса срочности сообщения $MCLASS$.

Действие 2. Определение критерия $r = R(MCLASS)$ выбора алгоритма передачи сообщения (12). R – функция определения критерия выбора алгоритма на основе класса срочности сообщения.

$$r \in (r1, r2, r3); \quad (12)$$

где $r1: t \rightarrow \min(t_{\Pi}(K));$

$r2: C \rightarrow \min(C_{\Pi}(K)), t < t_{act};$

$r3: C \rightarrow \min(C_{\Pi}(K)); .$

Действие 3. Выбор алгоритма передачи сообщения $q = Q(r)$ на основании критерия выбора каналов связи для отправки сообщения (13):

$$q \in (q1, q2, q3); \quad (13)$$

где $q1: Q(r1); q2: Q(r2); q3: Q(r3);$ – алгоритмы, решающие задачу выбора каналов связи согласно заданному критерию.

Действие 4. Выполнение действий в соответствии с алгоритмом передачи сообщения $Q(r)$ (выполнение действий алгоритма $Q(r)$).

Показано, что алгоритм $q1$ сводится к передаче сообщений по всем каналам одновременно. Алгоритмы $q2$ и $q3$, являясь задачами оптимизации, сводятся к поиску экстремума в одномерном дискретном пространстве конечной размерности N , где N – общее число каналов связи, имеющих у данного терминала. Указанные задачи оптимизации сводятся к простейшей задаче поиска экстремума и решаются методом полного перебора всех N элементов с целью нахождения экстремума.

Подобный подход к построению алгоритмов позволяет достаточно просто расширять программное обеспечение при появлении новых форматов и классов сообщений. Действительно, появление нового формата сообщений приводит лишь к расширению множества шаблонов S и одной из таблиц таблиц $STBL$ или $ITBL$.

Исследование **алгоритма управления каналами связи** показало, что при вероятности ошибки передачи по каналу связи стремящейся к единице $P_{err0k} \rightarrow 1$ (например, при достаточно длительном «обрыве» канала связи), происходит исключение канала связи из работы без последующего его восстановления. Это явление происходит вследствие того, что при $P_{err0k} \rightarrow 1$ величина ожидаемой стоимости $C_k \rightarrow \infty$ и ожидаемого времени $t_k \rightarrow \infty$, вследствие чего по данному каналу связи передачи информации не происходит и величина P_{err0k} не корректируется. Это приводит к так называемому «мёртвому состоянию алгоритма», то есть такому состоянию, попав в которое, алгоритм не может из него перейти в другое состояние.

Для устранения этого явления, введена посылка «тестовых сообщений», попытка передать которые периодически производится вне зависимости от состояния канала связи.

В третьей главе производится обоснование выбора средств разработки, обоснование и описание структуры программного обеспечения.

Исходя из аппаратных особенностей ВИП-МК и особенностей используемой операционной системы Linux, принято решение использовать в качестве средств разработки коллекцию компиляторов gcc. Разработанные алгоритмы реализованы на языках C и C++.

В основу построения структуры программного обеспечения положены следующие основные принципы:

- «Модульность». Данный принцип заключается в разбиении задачи на ряд логически законченных задач-модулей, которые имеют унифицированный интерфейс обмена. Достоинство такого принципа – возможность разрабатывать каждую задачу отдельно, а так же изменять реализацию отдельных подзадач, независимо от остальных.
- «Одна задача – одна программа». Принцип заключается в том, что каждая логически законченная задача-модуль (или несколько тесно связанных задач) реализуется в виде законченной программы. Это позволяет повысить безопасность работы системы в целом и ускоряет локализацию проблемных мест при возникновении сбоев.
- «Обмен посредством файловой системы». Такой способ организации интерфейса выбран исходя из соображений наибольшей универсальности. Каждое сообщение, которое одна программа-модуль посылает другой программе-модулю, сохраняется в виде файла в файловой системе ВИП-МК. Каждая программа-модуль имеет специальные каталоги для приёма сообщений от других программ.
- «Метаданные в именах этих файлов». Метаданные файлов-сообщений, хранящих метаданные, находятся в именах этих файлов. Это позволяет использовать функции операционной системы для работы с файлами-сообщениями и не пользоваться специальными серверами баз данных, что уменьшает требования к ресурсам, необходимым для работы специализированного программного обеспечения.

Структура программного обеспечения управления каналами связи показана на рис. 2 и представляет собой развёрнутую структуру, показанную на рис. 1 (б). На рис. 2 для наглядности не показан блок обработки принятых сообщений.

Программное обеспечение управления каналами связи выполнено в виде нескольких программ, каждая из которых включает несколько программных модулей.

Программа *meteoclass* включает в себя модуль определения типа сообщения и модуль классификации сообщений по категории срочности. Входные данные для программы *meteoclass*: исходное сообщение $M_{сообщ}[L]$, его тип $MTYPE$, таблица сроков $STBL[N]$, таблица экстренных сообщений $ITBL[M]$ и текущее время t . Выходные данные – тип $MTYPE$ и класс срочности сообщения $MCLASS$.

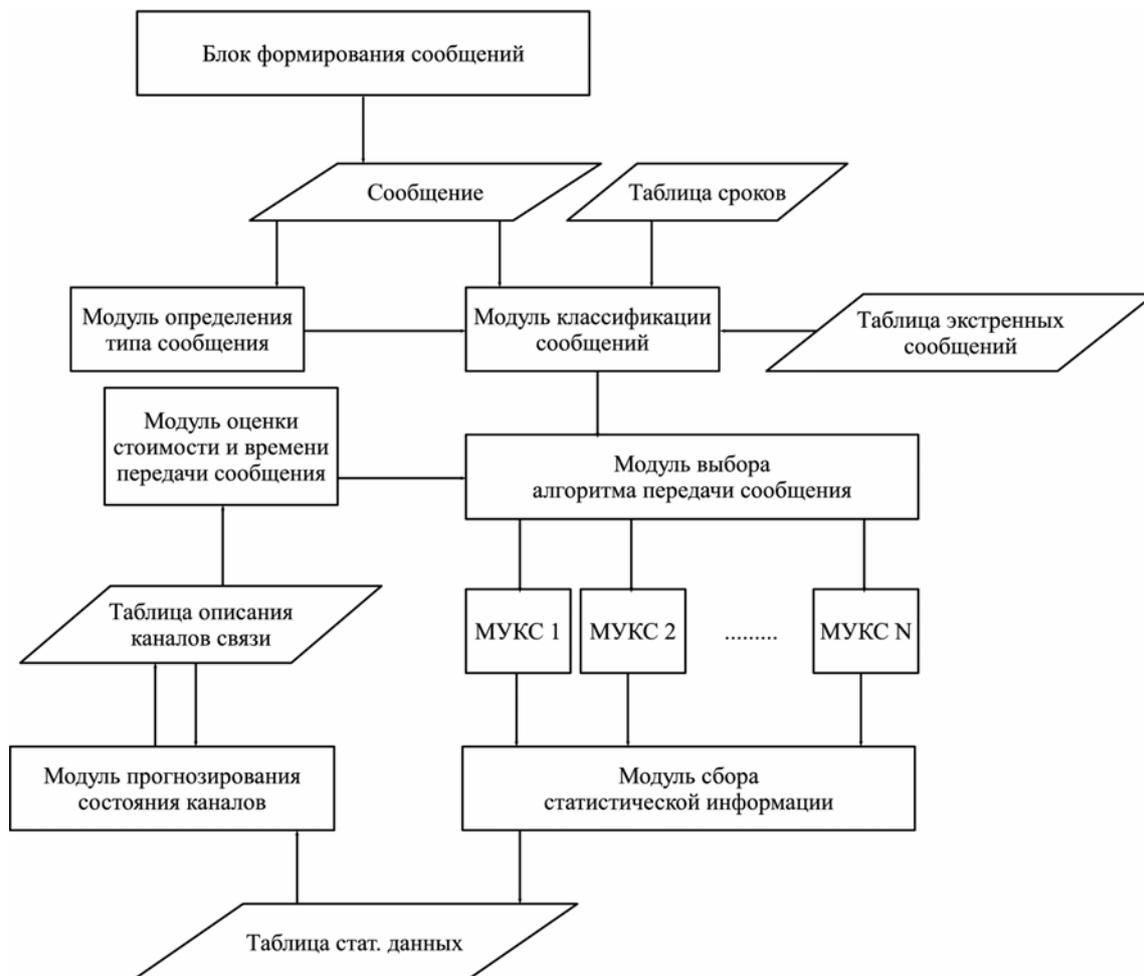


Рис. 2. Структура программного обеспечения управления каналами связи.

Программа *meteosend* включает в себя модуль выбора алгоритма передачи сообщения $Q(r)$, программные модули реализующие каждый из возможных алгоритмов передачи сообщения $(q1, q2, q3)$ и модуль оценки стоимости и времени передачи сообщения. Входные данные для программы *meteosend*: таблица описания каналов связи, тип $MTYPE$ и класс срочности сообщения $MCLASS$. Выходные данные: номера каналов $k_1 \dots k_n$, по которым производится передача сообщения. Программа принимает решение на основе алгоритма управления каналами связи и ставит сообщение на передачу по выбранным каналам.

Программа *meteostat* включает в себя модуль сбора статистической информации и модуль прогнозирования состояния каналов связи. Данные, используемые программой *meteostat*: данные о результатах каждой передачи по каждому каналу связи r_k , таблица статистических данных, корректируемая при получении результатов передачи, таблица описания каналов связи, так же корректируемая при получении результатов передачи.

В четвёртой главе описывается методика тестирования программного обеспечения и результаты тестов каждой из разработанных программ в отдельности и комплексного тестирования программного обеспечения.

Методика заключается в проведении серии тестов на определённом множестве входных данных и сравнении результата работы программы с эталонным, рассчитанным на основании входных данных заранее без использования тестируемой программы.

В качестве примера в табл. 1 приведены основные результаты тестирования программы *meteoclass*. Время передачи сообщений и время актуальности данных указано в часах.

Табл. 1. Результаты тестирования программы *meteoclass*.

Согласно <i>STBL</i> : сообщения регламентированные сроками имеют формат «ГМС», сроки передачи сообщений $t \in (0,6,12,18)$, время актуальности данных сообщения – $t_{act} = 0.25$.				
Экстренные сообщения, согласно <i>STBL</i> , содержат строки «шторм», «тайфун».				
№	Входной формат сообщения	Время	Данные сообщения (без служебного заголовка)	Результат работы программы. Формат сообщения, категория срочности.
1	ГАО	0.2ч	«Тестовое сообщение ГАО»	«ГАО», «Прочее»
2	ГМС	0.2ч	«Тестовое сообщение ГМС»	«ГМС», «Регл. сроком»
3	ВМО	0.2ч	«Тестовое сообщение ВМО»	«ВМО», «Прочее»
4	Неформатное (с ошибкой)	0.2ч	«Тестовое сообщение»	«Формат не определён», «Прочее»
5	ГАО	0.2ч	«Тестовое сообщение шторм»	«ГАО», «Регл. экстренное»
6	ГМС	0.2ч	«Тестовое сообщение тайфун»	«ГМС», «Регл. экстренное»
7	ВМО	0.2ч	«Тестовое сообщение шторм тайфун»	«ВМО», «Регл. Экстренное»
8	ГАО	0.75ч	«Тестовое сообщение ГАО»	«ГАО», «Прочее»
9	ГМС	0.75ч	«Тестовое сообщение ГМС»	«ГМС», «Прочее»

10	ВМО	0.75ч	«Тестовое сообщение ВМО»	«ВМО», «Прочее»
11	Неформатное (с ошибкой)	0.75ч	«Тестовое сообщение»	«Формат не определён», «Прочее»
12	ГАО	0.75ч	«Тестовое сообщение шторм»	«ГАО», «Регл. экстренное»
13	ГМС	0.75ч	«Тестовое сообщение тайфун»	«ГМС», «Регл. Экстренное»
14	ВМО	0.75ч	«Тестовое сообщение шторм тайфун»	«ВМО», «Регл. Экстренное»
15	Неформатное (с ошибкой)	0.75ч	«Тестовое сообщение шторм тайфун»	«Формат не определён», «Прочее»

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

В приложении приведены справки о внедрении результатов работы.

Основные результаты работы.

1. Сформулирована в общем виде основная задача, решаемая системой передачи метеоданных при передаче сообщения и проведён анализ функционирования этой системы в рамках поставленной задачи.

2. Предложены способы классификации сообщений, на основе которых разработаны алгоритмы и программное обеспечение автоматической классификации сообщений по типу и категории срочности.

3. Предложены способы динамической оценки качества каналов связи с целью расчёта ожидаемой стоимости и времени передачи сообщения.

4. На основе предложенных способов прогнозирования периодически изменяющегося состояния каналов связи и динамической оценки качества каналов связи разработаны алгоритмы и программное обеспечение для расчёта ожидаемой стоимости и времени передачи сообщения.

5. На основе предложенных способов классификации сообщений и учёта качества каналов связи разработано программное обеспечение, позволяющее динамически адаптировать вычислительный процесс микропроцессорного терминала с целью выбора алгоритма передачи сообщения.

6. Разработанное программное обеспечение в составе тиражируемого ВИП-МК, разработанного инновационно-технологическим предприятием ООО «ИНКОМ», внедрено в следующих проектах: программе РФФИ № 05-07-98006 «Разработка и создание аппаратно-программного комплекса сбора, обработки и передачи гидрометеорологической информации для Кустового информационного центра»; Федеральной целе-

вой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2010 года», мероприятие 21; в рамках проекта РНМ/1/В.1.а «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета»; а так же в учебном процессе Томского Политехнического Университета по курсу «Микропроцессорные системы».

Основные публикации по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК.

1. Шамин А.А., Организация вычислительного процесса микропроцессорных терминалов для многоканальных систем передачи данных. Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. С.23-28.
2. Сонькин Д.М., Шамин А.А., Оценка пропускной способности систем пакетной передачи данных с пульсирующей загрузкой канала связи. Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. С.29-33.
3. Сонькин М.А., Шамин А.А., Оптимизация функционирования многоканальных распределённых информационно-телекоммуникационных систем для труднодоступных объектов. Известия ТПУ. 2008. Т. 313. №5 С.51-54.
4. Гринемаер В.В., Шамин А.А., Некоторые проблемы использования криптографического процессора для систем связи на базе пакетного контроллера «ВИП-М». Известия ТПУ, 2008. Т. 313. №5, С. 116-118.

В других изданиях.

5. Сонькин М.А., Шамин А.А., Организация вычислительного процесса многофункциональных микропроцессорных терминалов. Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск, 27 февраля – 1 марта 2007. Томск: изд-во ТПУ. С. 458-460.
6. Шамин А.А., Реализация специализированной операционной системы для микроконтроллеров с ограниченными ресурсами. Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск, 26-28 февраля 2008. - Томск: СПб Графикс, 2008. С. 69-71.
7. Патент №87548. Автономный телекоммуникационный терминал с дополнительным каналом спутниковой системы связи ИНМАРСАТ. Сонькин М.А., Лиханов М.Г., Гринемаер В.В., Киреев М.В., Шамин А.А.

Подписано к печати 21.12.2009. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 1,28. Уч.-изд.л. 1,16.
Заказ 1723-09. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru