

**Основные положения доклада  
о многопороговом декодировании,  
представленного на заседании НТС  
коммуникационной корпорации**

"Научно-техническая революция непрерывна.  
Она состоит из многих частных революций.  
Стать инициатором одной из них - редкая удача.  
Успешность её осуществления

- критерий зрелости."

**Джастин Раттнер,**

Директор НИЛ корпорации Intel

**Исходная ситуация**

1. Решение сложнейшей проблемы простого и эффективного декодирования чрезвычайно важно для успешного развития сетей и систем связи.

2. В десятках технологически развитых стран в этой сфере работают сотни исследовательских центров и научно-производственных фирм. Здесь заняты десятки тысяч специалистов высочайшей квалификации, разрабатывающих новые алгоритмы и внедряющих их в аппаратуру связи.

3. Эффективность кодирования может определяться допустимым относительным снижением энергетики сигнала при сохранении фиксированной достоверности декодирования по сравнению со случаем отсутствия кодирования.

4. Если 20 лет назад стоимостная эффективность снижения энергетики на 1 дБ оценивалась в \$1'000'000, то сейчас она многократно увеличилась и в дальнейшем будет только быстро возрастать. Экономически это выражается в снижении затрат на строительство антенн меньшего размера, росте скорости и надёжности связи, в снижении числа переключений и в других технологических достоинствах. Чрезвычайно важно, что дополнительное снижение энергетики канала на 3 дБ эквивалентно увеличению вдвое числа каналов, стоимость которых обычно очень

высока, тогда как создание декодера с такими улучшенными характеристиками во многих случаях вполне возможна, причём, при очень малой стоимости разработки по сравнению с физическим удвоением числа каналов. Именно этим и определяется ценность кодирования.

### Суть научно-технической революции в кодировании

5. До недавнего времени характеристики всех алгоритмов декодирования были очень далеки от теоретических границ эффективности. Тенденция улучшения характеристик декодеров была весьма слабой. Она полностью определялась быстрым развитием элементной базы.

6. Алгоритм Витерби, появившийся 35 лет назад, обеспечивает оптимальное декодирование. Но он экспоненциально сложен и поэтому в конкурсе методов не участвует.

7. Результатом увеличения за последние десятилетия на несколько порядков вычислительных ресурсов элементной базы микроэлектроники стали турбо коды, открытые на Западе в 1993 г. Однако сложность реализации для них эффективных декодеров, существенно меньшая, чем для переборных алгоритмов, всё ещё настолько велика, что реальные декодеры, реализующие эти и подобные им методы, очень дороги или слишком медленны.

Это - тупиковая ветвь развития.

Других действительно перспективных методов - нет!

8. Главный момент новизны. В ИКИ РАН разработаны новые методы **многопорогового декодирования (МПД)**. Их главное свойство состоит в том, что при линейной сложности реализации они осуществляют фактически оптимальное декодирование даже при очень большом уровне шума канала. Это принципиально меняет ситуацию в перспективах различных методов и на рынке аппаратуры помехоустойчивого кодирования. Получить такое соотношение сложности и эффективности ещё совсем недавно даже не было надежды.

9. **Причиной успеха** является одновременное **полное решение** сразу **трёх** взаимосвязанных **задач**:

9.1. Реализация принципа глобальной оптимизации функционала на основе одного из самых простейших алгоритмов декодирования - мажоритарного, что и определило крайнюю простоту создания МПД.

9.2. Задача выбора кодов для МПД, которые должны быть с минимальным уровнем размножения ошибок (РО).

9.3. Оптимизация десятков и сотен технологических параметров МПД при проектировании, позволяющая дополнительно увеличить эффективность декодирования без какого-либо увеличения сложности обработки при декодировании в условиях большого шума.

Отметим, что две первые из этих трёх задач уже очень давно рассматривались научным сообществом и были признаны чрезвычайно трудными и практически неразрешимыми. Это и стало причиной того, что действительно эффективные итеративные методы коррекции за рубежом появились на 20 лет позже алгоритма МПД.

10. В настоящее время можно создавать аппаратуру кодирования с МПД, которая будет работать при отношении сигнал шум, не более чем на 1 дБ превышающем уровень пропускной способности канала. Это пока возможно только для турбо (и некоторых других) кодов со сложностью реализации (определяемой формально как число операций на декодируемый бит данных) **на 2 порядка большей**. У МПД есть и серьёзные дополнительные достоинства (удобство параллельных вычислений, их ускорение, простое каскадирование).

11. Подчеркнём, что в настоящий момент уже достигнут теоретически предельный уровень распараллеливания вычислений при разработке МПД на ПЛИС Xilinx (см. журнал «Электросвязь» №2, 2005г.). Это позволяет создавать МПД даже на простых кристаллах ПЛИС с произвольно большой скоростью обработки, на многие сотни Мбитов в сек.

12. Уже реализованные и внедрённые в реальные (в частности, телевизионные) системы программные МПД с быстродействием, недоступным для прочих методов и высокой эффективностью также создают все условия для их успешного применения в различных системах связи.

### **Практические шаги по развитию методов МПД**

13.. Предлагается, чтобы организации, которые захотят воспользоваться научно-технической революции в кодировании, приняли на себя статус ведущего предприятия по применению МПД. У ИКИ РАН уже есть успешный опыт по разработке пяти поколений аппаратуры кодирования с МПД. Поэтому развитие его успеха в предлагаемом аспекте может быть очень успешным. Гарантируется всемерная поддержка организациям, занятым реализацией новых методов кодирования.

14.. Рынок аппаратуры связи с помехоустойчивым кодированием составляет десятки миллиардов долларов. Интенсивный поиск за рубежом новых алгоритмов (см. пп.1,2) гарантирует полный успех внедрения МПД и последующих продаж.

15.. Первые шаги по реализации алгоритмов МПД могут быть организованы с очень небольшими первоначальными вложениями. Важно, что все они - с гарантированным возвратом. Сейчас эти исследования поддерживаны РФФИ.

16.. Предлагается также обратиться с предложениями к руководству Минсвязи, Миннауки, совместно с ИКИ РАН - в Российское космическое агентство, в соответствующие Управления министерств и ведомств. Можно предлагать зарубежным фирмам участие в проекте. Кроме того, полезно подключиться к государственным программам уровня "Электронная Россия", организовать рекламу в технической периодике, участвовать в выставках в стране и за рубежом, опубликовать книгу (последняя в издательстве "Наука" вышла в 1981 г), выйти с предложениями по изданию книги об МПД за рубежом, издать вторым изданием уже вышедший в 2004 году новый справочник по МПД. Разработать на согласованных условиях новые 2 - 3 версии МПД на ПЛИС с существенно улучшенными характеристиками, открыть НИОКР по теме, организовать учебу специалистов.

17.. Последующие действия по реализации программы внедрения МПД будут вытекать из эффективности и результативности первых шагов вашей организации по продвижению алгоритма МПД в отрасли связи.

**Докладчик**  
**Д. Т. Н.**

**В.В.Золотарёв**