

Параллельные реализации численных алгоритмов для решения уравнений распространения в многомодовых линиях связи

О.С. Сидельников*, М.П. Федорук

Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

* E-mail: o.sidelnikov@g.nsu.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.75-76

В настоящее время в связи с экспоненциальным ростом объемов передаваемых данных и постоянным появлением новых мультимедийных сервисов растет спрос на повышение пропускной способности современных линий связи [1]. Разработка систем связи, основанных на многомодовых волокнах, в настоящее время рассматривается в качестве перспективного пути для дальнейшего увеличения скорости передачи данных за счет одновременного распространения нескольких сигналов по разным модам волокна [2]. Однако при одновременном использовании нескольких мод возникают новые эффекты, влияющие на передаваемые сигналы, такие как линейная связь мод, вызванная несовершенством оптического волокна, дифференциальная групповая задержка и нелинейные межмодовые эффекты. Для успешного использования многомодовых волокон для повышения пропускной способности необходимо исследовать и понимать каждый из этих эффектов. С этой целью в настоящее время успешно применяется математическое моделирование, в основе которого могут лежать метод расщепления по физическим процессам с использованием преобразования Фурье или компактные конечно-разностные схемы [3]. Такое моделирование является весьма ресурсоемкой задачей, а при увеличении числа используемых мод (M) в некоторых режимах распространения сложность рассматриваемых методов может расти как $O(M^3)$. В данной работе мы исследуем параллельные реализации численных алгоритмов для решения уравнений распространения в многомодовых линиях связи и оцениваем их быстродействие.

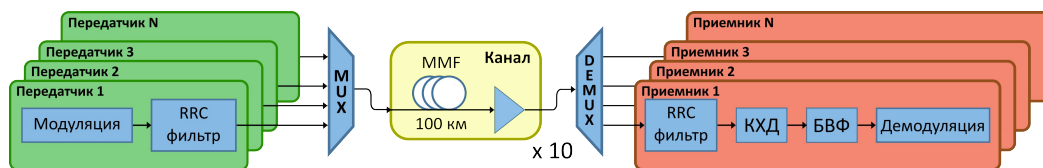


Рис. 1. Схема исследуемой многомодовой линии связи.

В работе исследуется многомодовая система передачи информации, изображенная на Рис. 1. Она состоит из передатчика, 10 пролетов многомодового волокна по 100 км каждый, эрбиевых оптических усилителей с коэффициентом шума $NF = 4.5$ дБ, восстанавливающие потери во всех модах, и приемника. На передатчике для каждой моды формируются 16-QAM сигналы с символьной скоростью $R_s = 32$ Гбод. Для придания формы импульсам используется фильтр с характеристикой типа «корень из приподнятого косинуса» (RRC) с коэффициентом сглаживания 0.1. Далее сигналы объединяются с помощью модового мультиплексора и совместно распространяются по каналу. Канал представляет собой многомодовое волокно со ступенчатым профилем показателя преломления со следующими параметрами: показатель преломления сердцевины

$n_{co} = 1.454$, показатель преломления оболочки $n_{cl} = 1.444$, радиус сердцевины $a = 7$ мкм. Такое волокно поддерживает распространение 12 мод с учетом поляризационных компонент каждой моды. После распространения по каналу сигнал попадает в приемник, где после разделения по модам проходит через согласованный фильтр, а затем выполняются идеальная компенсация дисперсионных эффектов, восстановление фазы и демодуляция сигнала.

В работе моделировалась нелинейная динамика оптических сигналов в многомодовых волокнах в двух предельных случаях линейной связи мод — режимах слабой и сильной связи. Для численного решения уравнений распространения использовался симметричный вариант метода расщепления по физическим процессам с использованием преобразования Фурье на линейном шаге. Для данного метода была разработана параллельная реализация на языке программирования C++ с использованием технологии MPI (Message Passing Interface). Следует отметить, что в данном случае параллельно на разных вычислительных потоках считалось распространение оптических сигналов по различным пространственным модам.

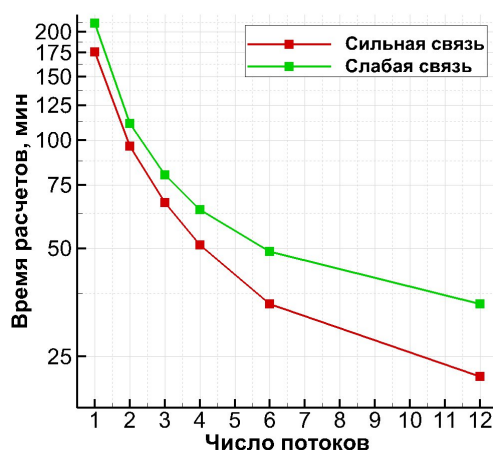


Рис. 2. Зависимость времени вычислений от числа используемых потоков при распространении сигналов по 12 пространственным модам в режимах сильной и слабой связи.

На Рис. 2 представлена зависимость времени вычислений от числа используемых потоков при распространении сигналов по 12 пространственным модам в режимах сильной и слабой связи. В зависимости от числа потоков на каждом из них обрабатывалось по 1, 2, 3, 4, 6 или 12 мод. Можно заметить, что для обоих режимов распространения увеличение числа потоков приводит к значительному сокращению времени расчетов. В режиме сильной связи мод использование 12 потоков позволяет ускорить вычисления более чем в 8 раз. В случае режима слабой связи ускорение оказывается меньшим из-за более сложной формы нелинейной части уравнений распространения.

Работа Федорука М.П. (теоретический анализ) была выполнена при поддержке проекта РНФ № 20-11-20040. Работа Сидельникова О.С. (математическое моделирование) была поддержана государственным заданием на проведение фундаментальных исследований № FSUS-2020-0034.

Литература

- [1] Winzer P. J., Neilson D. T., Chraplyvy A. R., *Opt. Express* **26**, 24190 (2018)
- [2] Essiambre R.J., Ryf R. et al, *IEEE Photonics J.*, **5**, 0701307 (2013)
- [3] Sidelnikov O., Fedoruk, Wabnitz S. *Opt. Fiber Technol.*, **84**, 103724 (2024)