

ВАРИАТИВНОСТЬ АРХИТЕКТУРЫ ОПТИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 002.6+004.4:0047

И. А. Малевич, Республиканский институт высшей школы.

А. В. Поляков, Белорусский государственный университет.

С. И. Чубаров Белорусский государственный педагогический университет

Аннотация

Предложен метод расширения информационных возможностей суперкомпьютерных систем на базе разработанного принципа построения быстродействующего оптоэлектронного процессора. Разработанная архитектура оптоэлектронного процессора активного типа с регенеративным принципом хранения и записи информации в лазерном элементе памяти с совмещением в оптическом диапазоне элементов программирования, первичной обработки, хранения и кодирования входной оптической информации обладает рядом новых возможностей вариативного типа, что открывает перспективы построения высокоэффективных оптических кластеров суперкомпьютерных систем.

Введение

Интенсивное развитие национальных суперкомпьютерных систем [1] инициировало появление целого ряда новых направлений исследований и разработок на базе кластерного принципа повышения производительности и эффективности входных каналов вычислительных систем сверхвысокой производительности. Особое значение в оптимизации параллельно-конвейерных алгоритмов суперкомпьютерных систем приобретают оптические вычислительные кластерные технологии входной обработки больших массивов информации в реальном масштабе времени в оптоэлектронном базисе [2].

Нами предложен метод построения архитектуры быстродействующего оптоэлектронного процессора-кластера с параллельной аналоговой и цифровой обработкой информации и на этой основе создан ряд его базовых моделей [2-4]. В основу построения архитектуры оптического кластера данного типа первоначально был положен принцип бинарной вариативности оптической памяти, основанный на методе регенеративного хранения и записи в реальном времени оптической информации и совмещающий в оптическом базисе программирование, первичную обработку, хранение и декодирование оптической информации в соответствии с требованиями структуры и вычислительных ресурсов суперкомпьютерной системы. Такие задачи возникают в исследованиях по зондированию окружающей среды, экспресс диагностике космических стволов связи, спектральном зондировании сред, локационных и медицинских диагностических экспериментах.

Бинарная вариативность (совмещение в единой структуре аналоговой и цифровой обработки) имеет принципиальное отличие от параллельной вычислительной архитектуры, в том числе и от моделей нейронных вычислительных сетей, т.к. позволяет проводить обработку входного массива данных непосредственно от источника поступления информации в широком оптическом спектре частот. Однако в ряде приложений по использованию больших вычислительных систем воз-

никают новые задачи, требующие структурного подхода.

Матричная функциональная вариативность оптического кластера

Предложенный подход позволяет значительно расширить вариативность архитектуры оптического кластера. Для разработанной базовой архитектуры оптического процессора [3] нами предложен ряд решений с матричной функциональной вариативностью архитектуры. Под функциональной вариативностью оптического кластера понимается системная адаптация конечного множества $\{\Phi^i\}$ функций оптической памяти при фиксированном системном базисе программного продукта $\sum \Pi = \text{const}$ в условиях поэлементного эталонирования «пластов» оптической памяти кластера $\Delta_{\text{т}}$ на каждом цикле отчуждения, регенеративного хранения и считывания информации при $\Delta_{\text{т}} = \text{const}$. Матричная вариативность предполагает конечное множество пластов оптической памяти в кластере, структурированных к адаптации параметров частотного спектра, быстродействия, интенсивности и статистических свойств входного информационного потока, при усреднении его по ансамблю реализаций конкретного эксперимента.

В соответствии с этим функционал вариативности имеет вид:

$$\text{var } F \in \exists_n \left\{ \Phi^i \mid \sum_1^n \Pi \right\} \leftrightarrow \Delta_{\text{т}}, \quad (1)$$

$$\{\Phi^i\} \equiv \sum^q L \mid \sum^l D \mid \sum^c N = \text{const}, \quad (2)$$

где \exists_n – квантор существования $\{\Phi^i\}$; символ \leftrightarrow обозначает процедуру компарирования параметров оптической памяти с внутренним эталоном $\Delta_{\text{т}}$; $\sum^q L$, $\sum^l D$, $\sum^c N$ – количество параметров матрицы адаптации системы используемых лазеров L записи информации; детекторы D считывания информационного поля регенерации данных, при постоянном числе N оптический слоев регенеративной памяти.

Условие оптимизации параметров $\sum^q L$, $\sum^l D$ при этом обеспечивается только в случае:

$$\tau_{\text{л}} = \tau_{\text{д}}; \quad f_{\text{л}} = f_{\text{д}}; \quad P_{\text{л}} = P_{\text{д}}, \quad (3)$$

т.е. тогда, когда инерционность τ , частотный спектр f и мощность P лазеров записи и фотодетекторов (ФД) считывания сравнимы по параметрам с Φ^i . В этих условиях оптический кластер может быть оптимизирован по информационной производительности без дополнительной вычислительной обработки данных.

Разработанная структурная модель матричной вариативной архитектуры оптического кластера показана на рис. 1.

Одна из рабочих концепций развития суперкомпьютерных систем связана с реализацией конфигурации архитектуры в режиме многокластерного доступа [1]. Разработанная для оптического кластера (рис. 1) структурная модель вариативной архитектуры оптического кластера памяти позволяет эффективно решать данную задачу на

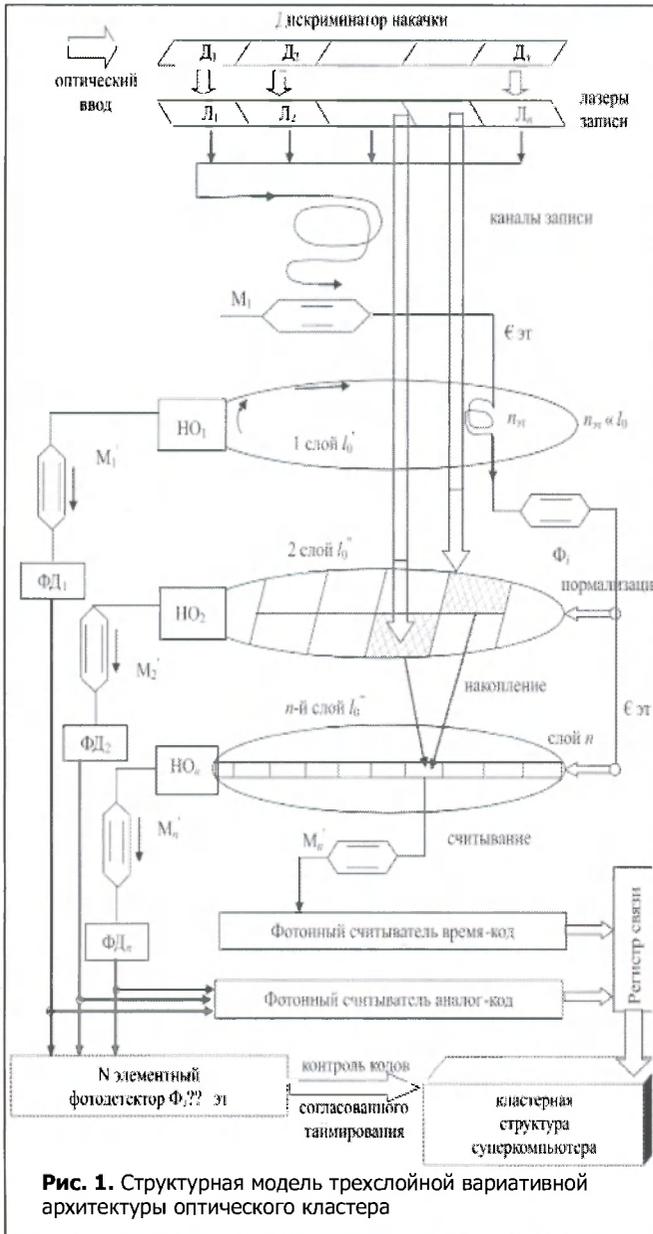


Рис. 1. Структурная модель трехслойной вариативной архитектуры оптического кластера

основе волоконных оптических элементов. Хранение записанной информации осуществляется в оптическом диапазоне рециркуляционным способом с использованием принципа многочастотной записи информации [4] в оптоволоконном канале. При этом не наблюдаются заметных корреляционных эффектов между оптическими информационными каналами. Важнейшим элементом системы, определяющим ее информационную производительность, является структура оптического канала ввода информации.

Структура разработанного для этих целей кластера оптического ввода информации показана на рис. 2.

Данная структура имеет ряд новых системных возможностей и алгоритмов работы с перестраиваемыми лазерами субнаносекундной длительности ($\tau=10^{-10}$ – 10^{-11} с), но требует разработки многоэлементных фотодетекторных трактов высокого быстродействия. Для этой цели нами разработан новый тип сверхбыстродействующего фотодетекторного тракта на основе матриц диодов с режимом внешней сверхвысокочастотной модуляции добротности [5-8].

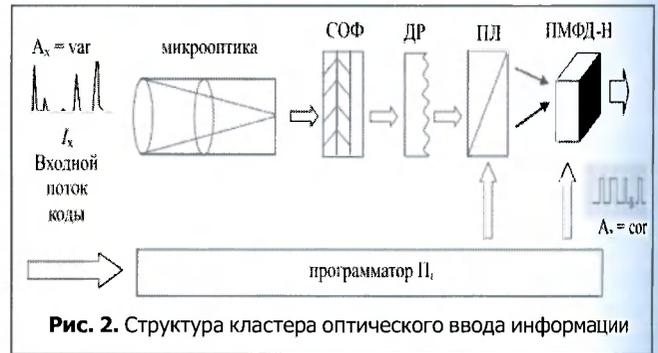


Рис. 2. Структура кластера оптического ввода информации

В оптическом канале ввода ненормированный по параметрам, т.е. с импульсами произвольной длительности и переменной интенсивности, входной поток I_x подвергается аккумулярованию системой микрооптики (МК) (усреднению по ансамблю реализаций), проходит процедуру частотной селекции $\sum R \Delta \lambda i$ в системе оптических фильтров (СОФ) и дифракционных решеток (ДР) и, при необходимости, поляризаторов (ПЛ), поступает на пороговый матричный фотодетектор-нормализатор (ПМФД-Н). На выходе оптического канала формируется нормированный по амплитудам поток $A_x = \text{const}$ (для реализации временного режима аналоговой обработки) или дополнительно нормированный и по длительности импульсов кодовой посылки $T_x = \text{const}$ (для реализации цифровых алгоритмов обработки входного потока I_x). В функции матричного фотодетектора, которые определяются программатором Π_i , входят пороговая дискриминация, что позволяет эффективно сепарировать оптические шумы, и последовательная нормализация кодовых посылок для оптической вариативной памяти кластерного процессора.

Достоинством функциональной последовательности трансформации входного потока I_x является простота линейного программирования оптического канала $\text{var} \Pi_i$ по конечному множеству вариативных параметров ($\sum L \cap \sum D \cap \sum N = \text{const}$). Программатор функций фотодетекторного тракта Π_i использует стандартные высокоуровневые преобразователи «код-аналог», легко реализуемые в требуемом вычислительном базисе, которые также решают задачу улучшения отношения сигнал/шум в процессе обработки информации в оптическом канале.

Реализованный в созданном оптическом кластере принцип фильтрации во входном оптическом элементе «нечеткой входной информации» необходим для системной организации многослойной вычислительной среды вариативной структуры кластера.

Ввод поляризованной на входе и стандартизованной по логическим и энергетическим порогам на выходе фотодетекторного канала информации позволяет полностью исключить «аналоговую» и цифровую неоднозначность» и отслеживать всю динамику входного потока непосредственно с канала эксперимента в текущем масштабе времени, что недоступно другим подходам к разработке оптических кластеров суперкомпьютерных систем [8, 9].

Дополнительно к этому разработанный подход не вносит приборных ограничений на инерционность, временной интервал и частотные свойства входного потока данных. Ограничения по данным параметрам могут быть априорно

определены выбором типов лазеров и фотодетекторов в соответствии с формулой (3).

Структурные особенности разработанных экспериментальных моделей

Разработанная структурная модель (рис. 1) трехслойной вариативной памяти оптического матричного кластера позволила выявить ряд новых свойств и особенностей по сравнению с базовым оптоэлектронным вычислителем [3].

В связи с появлением в последние годы высокотехнологичных микролазеров фемтосекундного и субнаносекундного диапазона длительностей с частотной перестройкой, а также матричных лазерных структур квантоворазмерного типа с широкой перестройкой параметров нами в реализованной экспериментальной модели (в соответствии с рис. 1) оптического кластера с вариативными свойствами использованы твердотельные полупроводниковые лазеры и сверхбыстродействующие линейки фотодетекторов с параметрической пороговой СВЧ с накачкой [5 – 7]. Это позволило реализовать в оптическом кластере новый подход к записи, хранению и отчуждению информации в чрезвычайно большом диапазоне (от субнаносекундного до миллисекундного масштаба) временных масштабов входных реализаций. При этом обеспечивается режим реального времени поступления в кластер информации с обслуживаемого информационного канала, а также селективный (в том числе и по нелинейным алгоритмам обработки I_x) доступ к считыванию и доступ к данным при выполнении потока команд.

Разработанная для экспериментальной модели конфигурация оптических волоконных модуляторов M_n (рис. 1) позволяет без изменения архитектуры осуществлять с выхода линейки микролазеров $L_n - L_n$ запись информации в n -слойную структуру (данный пример содержит трехслойную структуру) оптической памяти регенеративного типа, реализовать режим считывания информации по необходимому последовательным или нелинейным алгоритмам выборки и проводить циклическое эталонирование «размерности» оптической памяти без изменения архитектуры кластера. Для этого при поступлении первой информационной посылки входной информации в память записывается эталонный бланк кода $\epsilon_{ст}$ в оптоволоконное контрольное кольцо размерностью $\Delta l_0 = l/s$, где s – величина условного объема памяти, необходимая для записи информационной посылки максимальной временной (или кодовой в цифровом режиме) размерности. В двух каналах считывания информации (кодового или фотонного считывания) с помощью направленных ответвителей $HO_1 - HO_n$, демультиплексоров и фотодетекторов $ФД_1 - ФД_n$ осуществляется на каждом цикле типовой контроль кодов методом согласованного «таймирования» размерности всех слоев оптической памяти.

Матричная вариативность функциональной организации оптического кластера суперкомпьютерной системы реализована нами в виде двух типов архитектур – многоуровневой и ортогональной (векторной).

Функциональный контент многоуровневой и ортогональной архитектур базируется на различиях в построении информационного ядра Y_n . Информационное ядро многоуровневой архитектуры Y_n и сумма ядер векторной архитектуры $\sum Y_n$ выполняют функцию регулизирующего

оператора функциональных и информационных ветвей кластера, однако их целевые функции различны.

Функционал контента разработанной многоуровневой архитектуры имеет вид:

$$F_n \equiv \exists_m \in \left\{ \sum^n I_y \mid C_{ин} \right\} \leftrightarrow W_k(T) Y_m, \quad (4)$$

где $\sum^n I_y$ – сумма информационных уровней, формирующих приборное поле информационного продукта $C_{ин}$ многоканальной базы Y_n кластера, которые обеспечивают независимый свободный разноуровневый доступ контента; $W_k(T)$ – весовые коэффициенты уровней и приоритетов доступа к Y_m ; \exists_m – квантор существования информационного поля.

Многоуровневая вариативная архитектура оптического кластера в соответствии с формулой (4) обладает следующими свойствами.

Механизм поддержки целевой ориентации каждого независимого канала ввода информации в кластер может базироваться как на унифицированном наборе «приветственных» стандартных оптических модулей, так и на различных по частотным и временным свойствам целевых функциях входных независимых каналах архитектуры (например, реализующих режимы одноквантовых и токовых детекторных каналов, лазерных кодов записи субнаносекундного или наносекундного масштабов элементарных импульсов и т.д.) со своим независимым программным продуктом (ПП) обработки. Данная архитектура позволяет при необходимости синтезировать необходимую «диаграмму направленности» функций модулей для информационного заполнения общего Y_m .

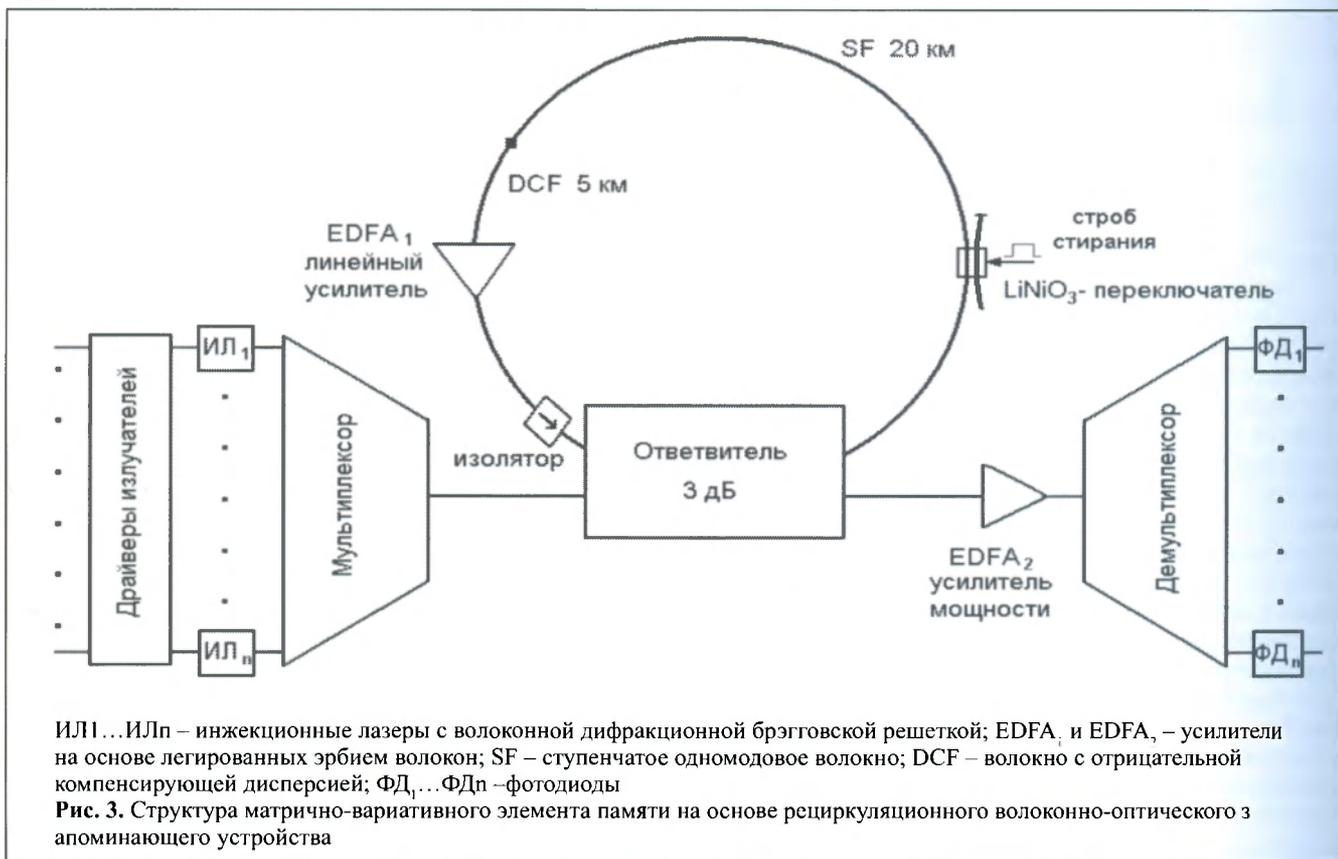
Недостатки многоуровневой архитектуры связаны с незаменимостью ПП и различием операторов функционирования каждого независимого канала, сопряженных с трудностями тестирования заданной целевой функции каждого канала. Достоинство – широкий диапазон параметров оптического входного поля и возможность адаптивной организации вариативности архитектуры кластера при стандартных управляющих протоколах.

Базовый функционал контента ортогональной вариативной архитектуры оптического кластера, существенно отличается по своим функциям и свойствам от многоуровневой архитектуры. Функционал модели разработанной архитектуры имеет вид:

$$F_n \equiv \exists_0 \in \left\{ I_y + \sum^j \Phi_y \mid \sum^j C_{ин} \right\} \leftrightarrow \sum^k Y_n, \quad (5)$$

где $\sum^j \Phi_y$ – сумма типовых функций входных информационных уровней кластера, ориентированных на собственный элемент $\sum^k Y_n$; $\sum^j C_{ин}$ – сумма информационного продукта общего программного уровня I_y , обеспечивающего все «элементарные» уровни Φ_y .

Базовый функционал F_n включает в себя квантор существования внутреннего ядра каждого из ресурсов всех информационных уровней I_y , сумму Φ_y взаимозаменяемых информационных уровней внешней оболочки «элементарных» ядер Y_n кластера, осуществляющих информационный обмен с общим ядром памяти. Независимо от интенсивности поступления информационного входного поля вариативная векторная архитектура отрабатывает все запросы на информационное обслуживание эксперимента, при полной заменяемости в условиях



индивидуальных целевых функций типовых уровней.

Матрично-вариативный оптический элемент памяти

Основным способом повышения пропускной способности оптоволоконных информационных каналов является технология плотного спектрального (частотного) мультиплексирования (уплотнения) каналов с разделением по длинам волн, получившая название DWDM-технология (dense wavelength division multiplexing). Экономичность DWDM-систем с большой суммарной скоростью передачи данных в значительной степени зависит от эффективности использования рабочего спектра для передачи информации, от увеличения так называемой спектральной эффективности.

Нами разработана архитектура волоконно-оптического динамического запоминающего устройства (ВОДЗУ) со спектральным уплотнением информационных каналов [10]. Данная структура обладает следующими отличительными особенностями (рис. 3). Во-первых, применение комбинации стандартного одномодового волокна и волокна с отрицательной дисперсией позволяет уменьшить результирующую хроматическую дисперсию более чем на два порядка (средняя хроматическая дисперсия на всем участке волоконного световода в этом случае не превышает $D_{xp} = 0,05$ пс/нм·км). Во-вторых, использование двух волоконно-оптических эрбиевых усилителей (EDFA – erbium-doped fiber amplifier), один из которых EDFA₁ является линейным усилителем и компенсирует потери в петле рециркуляции, а второй EDFA₂ представляет собой выходной усилитель мощности и позволяет исключить ис-

пользование электронных усилителей на выходе каждого фотоприемника. Кроме того, регенерация циркуляционных информационных сигналов осуществляется в оптическом диапазоне, что позволяет работать с гигагерцовыми скоростями записи информационного потока и не осуществлять промежуточное периодическое преобразование сигналов из оптического диапазона в электрический и обратно. Поскольку спектральная полоса усиления EDFA достигает 35 нм в окрестности длины волны $\lambda = 1550$ нм, а используемый интервал между спектральными каналами составляет 0,8 нм, общее число каналов превышает 40, при этом 32 канала являются информационными, а остальные вспомогательными служебными.

В качестве источников излучения использовались лазеры, согласованные с отрезками волокна, на которых сформированы брэгговские решетки (ВБР). Использование решеток позволяет гибко варьировать длину волны лазерной генерации в пределах контура усиления активной среды лазера, обеспечить стабильность генерации, уменьшить ширину лазерной линии, реализовать ее перестройку. Описанные ВБР-лазеры [11] обладают высокой температурной стабильностью и в окрестностях рабочей длины волны 1,55 мкм при прямой модуляции со скоростью более 10 Гбит/с имели мощность излучения $P_0 = 3,5\text{--}4$ мВт и ширину линии генерации не более 0,01 нм.

Оптические усилители на основе волокна, легированного эрбием, кроме восстановления амплитуды информационных сигналов непосредственно в оптическом диапазоне, имеют ряд преимуществ. Во-первых, оптический усилитель конструктивно проще. Во-вторых, оптический усилитель в отличие от регенератора не привязан к протоколу или

скорости передачи и может преобразовывать (усиливать) входные сигналы любого формата. В-третьих, оптический усилитель способен одновременно усиливать большое число независимых спектрально разделенных каналов, в то время как регенератор может обрабатывать только один канал, одну длину волн. Перечисленные преимущества EDFA превосходят его главный недостаток – дополнительные шумы, вносимые усилителем.

Эрбиевые усилители, используемые как усилители мощности, обычно работают в режиме насыщения, когда мощность сигнала на выходе близка или превосходит мощность насыщения. Именно в этом режиме удается получить максимальные выходную мощность и эффективность накачки.

Применительно к разработанной схеме ВОДЗУ, для достижения наилучшего результата конструкция линейного усилителя должна обеспечивать минимально возможное значение шум-фактора, а конструкция усилителя мощности должна обеспечивать наибольшие значения выходной мощности и эффективности накачки. Наименьшее значение шум-фактора достигается в усилителях, использующих сонаправленную накачку на длине волны 980 нм, и именно их целесообразно использовать в качестве линейного усилителя. Наибольшую эффективность накачки и выходную мощность можно получить при использовании встречной накачки на длине волны 1480 нм. Такую конструкцию целесообразно использовать в усилителе мощности. В настоящее время при накачке на длине волны 1480 нм достигнута энергетическая эффективность 86% при квантовой эффективности 91%. Накачка на длине волны 980 нм позволяет получить энергетическую эффективность 55% при квантовой эффективности 86%.

При усилении слабых сигналов в рабочем диапазоне длин волн 1530-1565 нм неравномерность коэффициента усиления EDFA составляет 5-7 дБ, что может в процессе рециркуляции привести к потере информации в каналах с меньшим усилением. Для сглаживания спектра усиления в схему усилителя вводят спектрально-селективные поглощающие фильтры на основе как световодных, так и объемных элементов. Одним из наиболее часто используемых видов фильтра является фотоиндуцированная длиннопериодная решетка (LPG, long-period grating). Такие решетки изготавливают путем пространственно периодического облучения сердцевины световода ультрафиолетовым излучением через его поверхность. Решетка, период которой, как правило, лежит в диапазоне 0,1-1 мкм, обеспечивает резонансное взаимодействие фундаментальной моды с модами оболочки. Следствием такого взаимодействия является преобразование части энергии основной моды волоконного световода с резонансной длиной волны в энергию оболочечных мод и быстрое затухание этих мод. Спектр и интенсивность поглощения задаются периодом решетки и временем облучения световода. Применение сглаживающих фильтров, изготовленных с использованием этой технологии, позволяет уменьшить вариации коэффициента усиления до десятых долей дБ в пределах рабочего диапазона.

Таким образом, матрица параметров лазерных излучателей адаптивным образом отражается в оптической памяти волоконного типа.

Заключение

Разработанный метод построения архитектуры оптического кластера суперкомпьютерных систем представляет интерес для разработчиков экспериментальных моделей интеллектуальных систем, для которых одной из проблем является информационная «жесткость» каналов чувствования и их заметная инерционность, вследствие чего возникают трудности при работе в реальном времени со входной информацией с большой временной и частотной динамикой. Реализованный оптический кластер с матричной вариативной архитектурой, несомненно, решает данные проблемы.

Литература:

1. Абламейко С.В. Кластерные конфигурации СКИФ / С.В.Абламейко, С.М.Абрамов и др. // Суперкомпьютерные системы и их применение (SSA'2004): Сб. докладов междунауч. конф., Минск, 26 – 28 октября 2004 г. – Минск, 2004. – С. 54-61.
2. Малевич И.А. Оптоэлектронный процессор обработки оптической информации при лазерно-локационном зондировании / И.А.Малевич, А.В.Поляков, С.И.Чубаров // Информационные системы и технологии: Материалы междунауч. конгресса по информатике, Минск, 31 октября – 3 ноября 2011 г.: В 2 ч. Ч.1 / БГУ. – Минск, 2011 г. – С. 277-282.
3. Малевич И.А. Архитектура быстродействующего оптоэлектронного процессора с параллельной аналоговой и цифровой обработкой информации / И.А.Малевич, А.В.Поляков, С.И.Чубаров // Суперкомпьютерные системы и их применение (SSA'2004): Сб. докладов междунауч. конф., Минск, 26-28 октября 2004 г. – Минск, 2004. – С. 43-48.
4. Malevich I.A. Multichannel fiber optic recirculating memory / I.A.Malevich, A.V.Polyakov, S.I.Chubarov // Proc. 11th Annual International Conference on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling, LFN*2011, Kharkov, Ukraine, September 5-8, 2011. – P. 153-154.
5. Чубаров С.И. Оптоэлектронный датчик длины волны лазерного излучения / С.И.Чубаров, В.Л.Козлов // Датчик-2002: Сб. материалов XIII науч.-техн. конф. Министерство образования РФ, МГИЭМ, Москва, 2002. – С.170-171.
6. Поляков А.В. Повышение пропускной способности быстродействующих оптических систем передачи и обработки информации / А.В.Поляков, С.И.Чубаров // Лазеры, измерения, информация: Тез. докл. междунауч. конф., С.-Пб, 5 – 6 июня 2002 г. Академия инж. наук России, ПГПУ, Пб, 2002. – С. 44-45.
7. Polyakov A.V. Increase of signal-to-noise ratio in fiber-optic systems with avalanche photodiode / A.V.Polyakov // 1-st International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, Alushta, Ukraine, 16 – 20 September 2003 / National University of Radio Electronics. – Alushta, 2003. – P. 129 – 131.
8. Heuring V.P., Pratt J.P. Bit-serial architecture for optical computing / V.P.Heuring, H.F.Jordan, J.P.Pratt // Appl. Opt. – 1992. – Vol.31, N17. – P. 3213-3214.
9. All-optical arbitrary demultiplexing at 2.5 Gdits/s with tolerance to timing jitter / N.A.Whitaker et. al. // Opt. Lett. – 1991. – Vol.16, N 23. – P. 1838 – 1840.
10. Волоконно-оптическое запоминающее устройство: пат. № 8012 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) G 11C 21/00, G 11C 13/04 / И.А.Малевич, А.В.Поляков, С.И.Чубаров, заявитель Белорус. гос. ун-т. – №

u20110684; заявл. 09.09.2011; опубл. 28.02.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1 – 257 С.

11. 10 Gbit/s directly modulated, high temperature-stability external fibre grating laser for dense WDM networks / F.N.Timofeev [et al.] // Electron. Lett. – 1999. – Vol. 35, № 20. – P. 1737 – 1739.

Abstract

The method of information opportunities expansion of

supercomputer systems on the basis of the developed principle of construction high-speed optoelectronic processor is offered. The developed architecture optoelectronic processor of active type with a regenerative principle of storage and record of the information in a laser memory element, with overlapping in an optical range of elements of programming, primary processing, storage and coding of the entrance optical information possesses a number of new variability type opportunities that opens prospects of construction highly effective optical cluster of the supercomputer systems.

Поступила в редакцию 05.06.2012

ТРЕБОВАНИЯ К НАУЧНЫМ СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В РАЗДЕЛЕ «РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ»

1. Научная статья – законченное и логически цельное произведение по раскрываемой теме – должна соответствовать одному из следующих научных направлений: информационные технологии и системы, оптоэлектроника, микро- и нанозлектроника, приборостроение.

2. Объем научной статьи не должен превышать 0,35 авторского листа (14 тысяч печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и другие), что соответствует 8 страницам текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 страницы в случае печати через 1,5 интервала).

3. Статьи в редакцию представляются в двух экземплярах на бумаге формата А4 (220015, г. Минск, пр. Пушкина, 29Б), а также в электронном виде (e-mail: sadov@bsu.by). К статье прилагаются сопроводительное письмо организации за подписью руководителя и акт экспертизы. Статья должна быть подписана всеми авторами.

Статьи принимаются в формате doc, rtf, pdf, набранные в текстовом редакторе word, включая символы латинского и греческого алфавитов вместе с индексами. Каждая иллюстрация (фотографии, рисунки, графики, таблицы и др.) должна быть представлена отдельным файлом и названа таким образом, чтобы была понятна последовательность ее размещения. Фотографии принимаются в форматах tif или jpg (300 dpi). Рисунки, графики, диаграммы принимаются в форматах tif, cdr, eps или jpg (300 dpi, текст в кривых). Таблицы принимаются в форматах doc, rtf или Excel.

4. Научные статьи должны включать следующие элементы: аннотацию; фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, ее название; введение; основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии); заключение; список цитированных источников;

индекс УДК;

аннотацию на английском языке.

5. Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова, позволяющие индексировать данную статью.

6. Аннотация (100-150 слов) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для опубликования в аннотациях к журналам отдельно от статьи.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно осветить содержание исследований. Полученные результаты должны быть обоснованы с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками).

Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Список цитированных источников располагается в конце текста, ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок должны быть написаны внутри квадратных скобок (например: [1], [2]).

В соответствии с рекомендациями ВАК Республики Беларусь от 29.12.2007г. №29/13/15 научные статьи аспирантов последнего года обучения публикуются вне очереди при условии их полного соответствия требованиям, предъявляемым к рецензируемым научным публикациям.



ЭКОНОМИЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ.
УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА

ABB drives alliance
Sales and Support

ООО «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ «ЭКНИС» ВЫПОЛНЯЕТ:

- Техническое консультирование.
- Выбор технического решения.
- Разработку проектной документации.
- Комплексную поставку согласованного оборудования.
- Шеф-монтажные и пуско-наладочные работы.
- Сервисное техническое консультирование.
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание.



Компактная серия: PSR...PSR105 1,5-22 кВт.
Универсальная серия: PSS 18/30...PSS300/515 7,5-160 кВт.
Усовершенствованная серия: PST30...PSTB1050B 15-560 кВт.

ООО «Электротехническая компания «ЭКНИС» г. Минск УНП 190575885

Тел.: +375 (17) 288-15-22, +375 (29) 689-18-90, www.ecnis.biz, e-mail: office@ecnis.biz