

УДК 004.45.2

**І. В. Петров, Б. О. Березін, А. М. Стеценко,
Н. В. Солоніна, В. О. Леснов**

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

Аналіз характеристик носіїв при побудові систем архівного зберігання інформації

Розглянуто особливості твердотільних, магнітооптичних, оптичних і магнітних носіїв, що використовуються при побудові систем архівного зберігання інформації у різних сферах діяльності. Надано рекомендації по використанню носіїв залежно від задач зберігання електронних даних.

Ключові слова: архівне зберігання інформації, довгострокове зберігання інформації, носії.

Постановка проблеми

В умовах стрімкого зростання обсягів цифрової інформації в світі особливого значення набувають рішення в сфері архівного зберігання інформації. За даними дослідження компанії IDC, наведеного в статті «The Diverse and Exploding Digital Universe: An Updated Forecast of Worldwide Information Growth Through 2011» обсяг цифрової інформації в 2007 р. у світі складав 281 екзабайт (мільярдів гігабайт), а до 2011 р. буде складати 1800 екзабайт, що в 10 разів вище показника 2006 р. За даними американських дослідників більшу частину загального обсягу інформації складатиме архівна інформація. Рішення та системи довгострокового зберігання інформації використовуються при побудові електронних архівів у різних галузях, електронних бібліотек тощо. Це обумовлює актуальність досліджень у галузі розробки носіїв для збереження цифрової інформації [1, 2]. Аналіз характеристик носіїв, що використовуються при побудові систем архівного зберігання інформації є необхідним етапом для обґрунтування вибору програмно-апаратних засобів архівів електронних документів довготермінового зберігання [3].

Твердотільні носії інформації

Твердотільний жорсткий диск (Solid State Disk — SSD) — накопичувач даних, заснований на флеш-пам'яті. Включає в себе масив мікросхем флеш-пам'яті та контролер, що забезпечує взаємодію з комп'ютером через інтерфейс SATA або ATA. Випускається в стандартних форм-чинниках 1,8", 2,5", 3,5". Такі параметри SSD як інформаційна ємність, швидкодія, гарантовані терміни зберігання разом з конструктивними та експлуатаційними характеристиками визначають вагоме місце SSD-пристроїв серед інших засобів збереження даних.

© І. В. Петров, Б. О. Березін, А. М. Стеценко, Н. В. Солоніна, В. О. Леснов

Продуктивність роботи SSD-пристроїв може масштабуватися числом паралельних NAND флеш-чіпів, що використовуються в пристрої. Поодинокий NAND флеш-чіп відносно повільний завдяки асинхронному інтерфейсу ІО, малої розрядності (8/16 біт) і додатковій типовій затримці базових ІО операцій, що становить для SLC NAND чіпів: ~25 мкс при зчитуванні блоків даних розміром 4 Кбайт з внутрішнього масиву до буфера вводу-виводу; ~250 мкс при запису блоків даних розміром 4 Кбайт з буфера вводу-виводу до внутрішнього масиву; ~2 мкс, щоб стерти блоки даних розміром 256 Кбайт у внутрішньому масиві чіпа. Коли значна кількість NAND флеш-чіпів діють паралельно, всередині SSD-пристрою пропускна спроможність обміну даними значно підвищується завдяки розподілу операцій вводу-виводу між ними [4]. Пам'ять NAND флеш, за своєю природою витримує обмежене число перезаписів. При зростанні ємності чіпів, заявлений ресурс знижується: від 1 млн. циклів до 100 тис. в нових моделях і навіть 10 тис. в малокошторисній пам'яті MLC (Multi Level Cell). Реальний ресурс по циклах запису кожного конкретного чіпа залежить від якості його виготовлення й умов експлуатації, і на практиці може бути значно нижчий заявленого. В той же час, число циклів зчитування нічим не обмежене, більш того, гарантується зберігання одного разу записаних даних протягом 10 років [5].

Порівняно з іншими змінними носіями (DVD-RW, Tape) ресурс флеш-пам'яті велими достатній. Спрацювання не мало би серйозного значення, якби запис провадився рівномірно за всіма адресами. Додаткову проблему створює файлова система FAT. Ряд її службових таблиць переписується при кожному оновленні будь-якого з файлів, саме ці елементи пам'яті першими виходять з ладу.

Для боротьби з цим явищем застосовується технологія «вирівнювання зносу» (wearleveling): найчастіше змінювані дані переміщуються адресним простором флеш-пам'яті так, що запис проводиться за різними фізичними адресами. Вважається, що вирівнювання зносу підвищує ресурс флеш-пам'яті в 3–5 разів [6]. У результаті застосування таких технологій інтегрований показник надійності MTBF (Mean Time Between Failure) для пристрою 1TBNitroSSD дорівнює 2 мільйони годин [7].

Компанія EMC була першою із світових виробників систем збереження даних, яка почала з 2008 р. використовувати SSD-диски. В системі EMC Symmetrix DMX-4 використовуються SSD-диски як нульовий рівень збереження разом із FC (першим рівнем збереження) та SATA-дисками (другий рівень збереження) в одному масиві. SSD-диски, що використовуються в DMX-4 — це сумісна розробка компаній EMC та STEC спеціально для DMX-4 [8].

В останні роки компанія EMC розширює використання SSD-дисків у системах збереження даних. Нові моделі корпоративного рівня ємністю 200 та 400 Гб будуть використовуватися в системах Symmetrix DMX-4 (High-End сегмент), CLARiiON (середній сегмент), а також уніфікованих системах збереження даних сімейства Celerra [9].

Магнітооптичні носії

Для вибіркової зміни полярності спеціального сплаву, що покриває поверхню оптичного диска, в магнітооптичних (МО) носіях використовується взаємодія лазера високої потужності та магнітних імпульсів. Магнітооптичні накопичувачі, як правило, відповідають стандартам ISO, ANSI і ін. Стандарти гарантують, що в переважній більшості випадків МО-пристрій може читати диски, записані на накопичувачах іншої марки. МО-накопичувачі користуються популярністю серед різноманітних сервісних служб і інших організацій, яким необхідний доступ до даних, наявних у розпорядженні

численних клієнтів, що працюють у різних системах.

Компанія Fujitsu є одним із провідних виробників магнітооптики формату 3,5 дюйма. На сайті компанії можна отримати інформацію про магнітооптичні диски ємністю 540 та 640 Мбайт, 1,3 та 2,3 Гбайт (<http://www.fujitsu.com/us/services/computing/storage/mo/accessories/>), а також про зовнішні та внутрішні магнітооптичні приводи формату 3,5 дюйма з інтерфейсами USB2, ATAPI та SCSI, ємністю від 640 Мбайт до 2,3 Гбайт, що виробляються компанією (<http://www.fujitsu.com/global/services/computing/storage/mo/archive/>).

Компанія Sony є виробником магнітооптичних дисків формату 3,5 дюйма та 5,25 дюйма ємністю від 594 Мбайт до 9165 Мбайт (http://www.sony.ru/biz/view/ShowProductCategory.action?site=biz_ru_RU&category=STO+3.5+MO+Disk).

Компанія Hewlett-Packard започаткувала виробництво магнітооптичних дисків ємністю від 1,3 до 9,1 Гбайт. Ці диски модельного ряду HP 92280T-C7984A сумісні з усіма оптичними приводами HP і стандартними приводами інших виробників, відповідають стандартам ISO, IEC і ANSI. Вони виготовлені по запатентованій HP роботизованій технології, задекларована довготривалість — до 100 років, використовуються в МО-бібліотеках. Компанія є виробником магнітооптичних бібліотек HP SureStore Magneto-Optical Jukeboxes. Модельний ряд бібліотек відрізняється кількістю слотів і загальною ємністю. Старша модель цього ряду — HP SureStore Optical 2200mx Jukebox підтримує 238 слотів і 2,166 Тбайт пам'яті. Технічні характеристики однієї з молодших моделей ряду HP SureStore 80ex наведені нижче. МО-бібліотека використовується для архівного збереження інформації, резервного копіювання або для структурованого керування даними.

Максимальна ємність: 83,2 Гбайт.

Кількість слотів для картриджів: 16.

Кількість МО-приводів: 1 (2).

Середній час установки картриджа в привід: 10 с.

Інтерфейс: SCSI-2.

Сумісність із носіями: читання/запис картриджів ємністю 5,2 і 2,6 Гбайт, тільки читання картриджів ємністю 1,3 Гбайт і 650 Мбайт.

Обсяг кеша: 2 Мбайт.

Середня швидкість читання/запису (залежить від ПЗ): 4,6/2,3 Мб/с.

Середній час між збоями: 100000 годин.

Середня частота виникнення помилок: менше 1 на 10 в 14 степені.

Розміри (В×Ш×Г): 495,3×220,1×749,3 мм;

Вага: 20,5 кг.

Компанія Plasmon є виробником магнітооптичних дисків ємністю від 1,2 до 9,1 Гбайт формфактора 5,25 дюйма для використання з бібліотекою цієї ж компанії G-Series Libraries. Носії відповідають вимогам бібліотеки та забезпечують життєвий цикл даних більше 30 років. Основні характеристики старших моделей МО-дисків компанії Plasmon наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Код	P9100E	P9100W	P8600E	P8600W
Ємність	9,1 Гбайт	9,1 Гбайт	8,6 Гбайт	8,6 Гбайт
Тип	Rewritable	WORM	Rewritable	WORM
Байт в секторі	4096	4096	2048	2048
Температура збереження	+ 10° to 55 °C			

Переваги МО-накопичувачів перед пристроями на магнітній стрічці полягають в тому, що вони мають значно менший час пошуку інформації (є пристроями довільного доступу), крім того, МО-диски більш довговічні, ніж стрічкові стрімерні касети. При цьому в приміщенні, де зберігаються МО-носії інформації, не потрібно створювати спеціальних кліматичних умов (витримувати режими температури і вологості). Середня тривалість використання МО-диска складає 50 років, і ніякого спеціального догляду за ним не потрібно.

На відміну від чисто оптичної технології, магнітооптичні системи дозволяють робити перезапис будь-яку кількість раз (більше 100.000.000). Носії захищені пластиковими картриджами, тому фізичні ушкодження поверхні не виникають, якщо дотримуватися відповідних простих рекомендацій при застосуванні.

Досить часто користувачам, що працюють у самих різноманітних областях, потрібно надійно перенести дані великого обсягу з однієї інформаційної системи до іншої. Це можуть бути важливі документи: графічні зображення, відеофрагменти, аудіофайли, мультимедійні презентації, програмні додатки тощо. Смуги пропускання комунікаційних каналів часто не вистачає для транзиту потрібної інформації або їхнє використання є надто вартісним. У цьому випадку проблему транспортування даних дозволяють вирішити зовнішні МО-накопичувачі, що використовуються як надійні пристрої резервного копіювання та архівного зберігання.

Оптичні носії інформації

Основні види оптичних носіїв, що використовуються на сьогодні при побудові систем архівного зберігання інформації у різних сферах діяльності — це DVD, BD і UDO.

У 2006 році консорціум INSIC (Information Storage Industry Consortium), представив огляд розвитку архівних накопичувачів на найближчі 5–10 років. У ньому основну роль було відведено новому поколінню оптичних бібліотек, що використовують носії Blu-ray. Його переваги наступні. Універсальність: Blu-ray прийнято в якості архівного носія в основних секторах ІТ-індустрії, а також у таких специфічних областях, як радіо- і телемовлення, медицина, охорона правопорядку, видавнича справа та інших. Довговічність BD (більш 50 років), ємність (одношаровий 23,3–33 Гбайт, двошаровий 46,6–66 Гбайт, у перспективі 10-шаровий до 320 Гбайт), швидкісні характеристики (залежно від швидкості привода 36–432 Мбіт/с), підтримка основними виробниками дисководів і носіїв надають цим дискам передумови стати стандартом архівних носіїв.

Серед пристроїв з оптичними носіями інформації DVD і BD, які використовуються в ряді проєктів у країнах СНД та Європи можна відзначити архівні накопичувачі компанії Елар. Основні характеристики DVD-накопичувачів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

	ЭЛАР® НСМ 3000	ЭЛАР® НСМ 4000	ЭЛАР® НСМ 7000
Максимальна ємність на односторонніх/двосторонніх DVD, Тбайт	1,26/2,40	1,88/3,62	3,24/6,34
Середній час зміни диску (включає час доставки нового диска з магазину та зміну диску в приводі), с	3	4	6
Напрацювання приводу на відмову, циклів	800 000		

Основні характеристики BD-накопичувачів наведені в табл. 3.

Таблиця 3

	ЭЛАР® HCM 1000 BD	ЭЛАР® HCM 3000 BD	ЭЛАР® HCM 4000 BD	ЭЛАР® HCM 7000 BD
Максимальна ємність	5,2 Тбайт	13,5 Тбайт	20 Тбайт	34,5 Тбайт
Швидкість запису, Мбайт/с	9			
Час доступу, мс	110			
Напрацювання на відмову робота, цикл	5 000 000			
Напрацювання на відмову управляючої електроніки, год.	120 000			
Напрацювання привода на відмову, цикл	800 000			

Нова генерація оптичних накопичувачів G-серії з носіями UDO2 — розробка компанії Plasmon на основі технології надщільного запису блакитним лазером [10]. UDO2-технологія дозволяє записувати на диску 60 Мбайт інформації. Високонадійний спосіб запису забезпечує збереження інформації не менш як 50 років. Специфікація носіїв наведена в табл. 4 (http://plasmon.com/archive_solutions/media.html).

Таблиця 4

Ємність носія UDO2	60 Гбайт (Double Sided)
Ємність носія UDO1	30 Гбайт (Double Sided)
Розмір сектору	8 Кбайт
Час життя носія	Більше 100 років
Циклів перезапису	10000 (Перезаписуваний носій)
Сертифікація	ISO/IEC 17345, ECMA-350

Основні характеристики бібліотек на основі носіїв UDO компанії Plasmon наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Модель	Початковий рівень		Середній		Корпоративний		
	G×24	G×32	G×80	G×174	G×238	G×438	G×638
Максимальна ємність	1,4	1,9	4,8	10,4	14,3	26,3	38,3
Час доступу робота (с)	7	7	7,3	8,3	6,2	6,3	6,4
Надійність бібліотеки (MSBF)	2,000,000		2,000,000		3,800,000		

Магнітні носії інформації

Жорсткі диски. Компанія Google Inc. провела аналіз статистики відмов жорстких дисків (більше 100 тис. екземплярів HDD). Кумулятивний відсоток відмов жорстких дисків наприкінці четвертого року експлуатації складає 25 %. Серед жорстких дисків великого об'єму слід відзначити лінійку компанії Seagate Barracuda XT. Модель ST32000641AS має об'єм 2 Тбайт. У компанії Western Digital 2-Тбайтна модель представлена накопичувачем WD20EVDS-63T3B0. Компанія Hitachi передбачає зростання щільності запису, що вже в 2014 році може привести до створення 3,5-дюймового жорсткого диску ємністю 25 Тбайт. Тестування характеристик для жорстких дисків компанії Seagate ряду Barracuda 7200.11 моделі ST31500341AS з об'ємом 1,5 Тбайт показало середню швидкість запису 106 Мбіт/с, а середню швидкість читання 105,5 Мбіт/с.

Магнітні стрічки. За даними специфікацій корпорації Imation для стандарту LTO-5 напруцювання на відмову складає 260 зчитувань/записів повної стрічки. Термін служби за умови запису однієї повної стрічки в місяць складає 21 рік. Стандарт LTO-5 представляє 1,4 Тбайт фізичної або 3 Тбайт стиснутої ємності. Майбутній стандарт LTO-6 підвищить ці показники до 3,2 Тбайт та 8 Тбайт. А задекларовані LTO-7 і LTO-8 збільшать характеристики ємності до 6,4/16 Тбайт і 12,8 / 32 Тбайт відповідно. Для LTO-5 співвідношення максимальної швидкості обміну нестиснутими/стиснутими даними — 140/280 Мбіт/с, для LTO-6 — 210/525 Мбіт/с, для LTO-7 — 315/788 Мбіт/с, і для LTO-8 — 472 Мбіт/с /1,18 Гбіт/с.

Висновки

Залежно від змістовного наповнення, частоти звернення і терміну зберігання, виділяються три ключові задачі збереження електронних даних: оперативний доступ до інформації, резервне копіювання й архівне (довготривале) зберігання. Вирішення кожної із задач потребує вибору та застосування різноманітного устаткування (носіїв) і програмного забезпечення відповідно до специфічних вимог до збереження й доступу [11].

Основні вимоги до оперативного збереження — безперервність доступу і висока швидкість роботи. Типовим прикладом може служити файловий сервер, головна задача якого — негайне надання необхідних даних великій кількості користувачів корпоративної мережі. Варіантом вирішення задачі оперативного збереження є магнітні пристрої — HD-диски, RAID-масиви, останнім часом — флеш-пам'ять. На рівні оперативного зберігання інформації SSD-пристрої мають певні переваги перед HDD-накопичувачами: продуктивність (швидкість читання і запису до 270 Мбіт/с); низька латентність у режимі читання 65 мкс, у режимі запису 85 мкс (34-нм технологічний процес); низьке споживання енергії; відсутність рухомих частин; висока механічна стійкість; широкий діапазон робочих температур. При організації RAID 5 (7+1) на основі 2 Тбайт FC HDD та SSD (ZeusIOPS, 3,5 дюйми, 2 Тбайт Fibre Channel, виробництва компаній EMC та STEC) середній час доступу для HDD RAID 5 складає 5–10 мс, а для SSD RAID 5 — 1 мс.

Архівне збереження передбачає збереження важливої інформації протягом тривалого часу при забезпеченні швидкого доступу до неї, що диктує цілком визначені вимоги до технологій зберігання й устаткування, зокрема, тривале зберігання великих обсягів інформації в незмінному вигляді. Таким умовам відповідають роботизовані бібліотеки оптичних дисків (можуть використовуватись носії DVD/BD/UDO та магнітооптика). На рівні довгострокового зберігання інформації, MO-накопичувачі мають значно менший час пошуку інформації, ніж пристрої на магнітній стрічці. Крім того, MO-диски більш довговічні, чим стрімерні касети. Відповідно до даних кампанії Plasmon, загальна вартість володіння для систем UDO значно менша порівняно з магнітооптикою (вартість дисків UDO з можливістю одноразового запису складає біля \$ 60, з перезаписом — біля \$ 70) і значно перевершує DVD з точки зору надійності.

Резервне копіювання передбачає високу потокову швидкість запису та читання і велику ємність носія. Оптимальним вибором будуть системи на основі стрічкових накопичувачів. Довговічність зберігання не критична, оскільки резервне копіювання проводиться регулярно.

1. *Петров В.В.* Новейшие технологии долговременного хранения электронных информационных ресурсов [Электронный ресурс] / В.В. Петров, А.А. Крючин, С.М. Шанойло // Б-ки Нац. акад. наук: про-

блемы функционирования, тенденции развития. — Электрон. дан. (1 файл). — К., 2005 — Вып. 3. — Режим доступа: <http://www.nbuv.gov.ua/articles/2005/05pvveir.html>.

2. Горбов І.В. Оптичні дисккові носії для довготермінового зберігання даних / І.В. Горбов, В.О. Беляковський // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2007. — Т. 9, № 3. — С. 73–87.

3. Петров І.В. Обґрунтування вибору програмно-апаратних засобів архівів електронних документів довготермінового збереження / І.В. Петров, А.М. Стеценко, Н.В. Солоніна // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2010. — Т. 12, № 1. — С. 78–88.

4. Roberts D. Using Non-Volatile Memory to Save Energy in Servers / D. Roberts, T. Kgil, T. Mudge. — Dept. of CSE, Univ. of Michigan // Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition. — April 2009. — P. 743–748, ISBN: 978-1-4244-3781-8

5. Carol Sliwa. Cheap, Large Multi-Level Cell SSDs Taking Flash Drives Mainstream [Електронний ресурс] / Carol Sliwa. — Режим доступу: <http://searchstorage.techtarget.com.au/articles/35350-Cheap-large-multi-level-cell-SSDs-taking-flash-drives-mainstream>

6. FAQ_flash_drive_wear_leveling [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.corsair.com/faq/FAQ_flash_drive_wear_leveling.pdf

7. Nitro N1 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.puresi.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=4&Itemid=9

8. Первая СХД корпоративного класса с SSD-дисками [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.spez.com.ua/?936>

9. Новые SSD-диски EMC для критичных приложений [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.3dnews.ru/news/emc_ssd_diski_dlya_kritichnih_prilozhenii

10. G-Series UDO Libraries [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://plasmon.com/archive_solutions/glibrary.html

11. Березін Б.О. Підтримка прийняття рішень при побудові систем довготермінового зберігання інформації / Б.О. Березін, П.Т. Качанов, В.В. Циганок, О.В. Андрійчук // Проблеми розвитку інформаційного суспільства: матеріали Міжнародного форуму. — 2009. — С. 145–153.

Надійшла до редакції 15.06.2010