

УДК 004.9, 004.051

А. Ю. КРИВЦОВ, С. В. ГОНТОВИЙ

Донбаський державний технічний університет, Україна

АНАЛІЗ ЗЕЛЕНИХ МЕТРИК ТА ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У роботі розглянуто питання оцінки енергоефективних програмного забезпечення. Проаналізовано існуючі зелені метрики та запропоновано метод їх систематизації. Отримана система зелених метрик, яка дає змогу реалізувати підхід до оцінки програмного забезпечення. На основі отриманої системи зелених метрик проведено аналітичне тестування інструментів оцінки енергоефективності програмного забезпечення. Виявлено їх недоліки та визначено потребу у створенні повнофункціонального інструменту. Складено ряд необхідних вимог до такого інструменту.

Ключові слова: енергоефективність, зелені метрики, якість програмного забезпечення.

Вступ

Низьке споживання енергії інформаційними системами стало головною дослідницькою задачею, як на прикладному рівні в промисловості, так і в лабораторних умовах. Споживання енергії є критичним для переносних пристроїв, оскільки визначає час роботи їх акумуляторної батареї, їх вагу, максимально можливу ступінь інтеграції, а так само стоїть питання їх охолодження і надійності.

Енергоспоживання системи можна структурувати, розділивши його на дві частини - статичну та динамічну. Статична включає в себе витрати на підтримку системи в робочому стані (наприклад, енергія, споживана системою охолодження, материнською платою, і т. д.). Вона має слабку кореляцію з природою виконуваних додатків, тому цікавить нас у меншій мірі - ми не можемо контролювати цю частину енергоспоживання. Динамічна пов'язана з виконанням додатків. Оскільки вона сильно залежить від характеристик навантаження, ступеня використання ресурсів і політики енергоспоживання, то може сильно варіюватися. Саме тут у нас є простір для оптимізації, так як програмне забезпечення вносить серйозний внесок у загальне енергоспоживання системи [1,2]. Динамічна частина енергоспоживання, в свою чергу, складається із споживання енергії процесором, пам'яттю і пристроями, а також витрат на їх взаємодію.

Постанова завдання

Для того щоб визначити чи є дане програмне забезпечення енергоефективним необхідні відповідні критерії та метрики. Загальні критерії якості виводяться з добре відомих і стандартизованих аспек-

тів якості для програмного забезпечення випущених Міжнародною організацією зі стандартизації [3]. Відповідно до стандарту ISO/IEC 9126 є 6 основних показників якості – функціональність (functionality), надійність (reliability), практичність (usability), ефективність (efficiency), супроводжуємість (maintainability) і мобільність (portability). Поняття енергоефективності найближче до показника ефективності.

Аспекти якості ефективності, які відносяться до енергоефективності це ефективність виконання (*Runtime Efficiency*), інтенсивність використання ЦП (*CPU-Intensity*), використання пам'яті (*Memory Usage*), інтенсивність використання периферії (*Peripheral Intensity*) Бездіяльність (*Idleness*), і кількість методів (*Number of Methods*) [4].

Для вимірювання характеристик і критеріїв якості програмного забезпечення застосовують метрики. Вони дадуть змогу виявити найбільш ефективну реалізацію серед кількох програм, яка споживає менше енергії під час функціонування. Це дозволить створити індикатори, які могли б допомогти поліпшити якість ПЗ, і зрозуміти необхідне співвідношення апаратної та програмної частин при проектуванні системи в цілому. Зелені метрики повинні бути простими і обчислюємими, інтуїтивно зрозумілими, несуперечливими, і настільки, наскільки це можливо – незалежними від мови програмування. Велика кількість метрик для внутрішніх параметрів програмних продуктів, такі, як розмір програми, складність, функціональність, структурованість, модульність, були свого часу розроблені і активно застосовувалися і застосовуються до програмних продуктів [5].

Питання про введення узгодженої системи метрик для оцінки енергоефективності активно вивчається в науковій літературі. Для оцінки енергоефек-

тивності можуть використовуватися як класичні фізичні характеристики (Дж, Вт), так і нові, наприклад Gflop/c per Watt - визначає кількість інструкцій в секунду на один Вт. У 2010 була запропонована альтернативна метрика [6] – FTTSE (f(timetosolution) *energy), що одночасно враховує час роботи програми (f(timetosolution)) і витрачену енергію (energy). Питання формування та застосування системи метрик для оцінки енергоефективності представляє великий практичний інтерес. Таким чином виникають питання: які зелені метрики для програмного забезпечення існують, як вони можуть бути класифіковані і за допомогою яких інструментів виміряні.

1. Зелені метрики

Всі існуючі зелені метрики можна розділити на дві основні групи – безпосередньо призначені для вимірювання енергоспоживання програмного забезпечення і незв'язані з ним. Враховуючи напрям роботи нас цікавитиме перший клас. Перш за все потрібно систематизувати метрики за типом вимірювання. Проаналізувавши існуючі метрики ми розподілили їх на наступні групи, представлені нижче.

Група що вимірює енергію містить метрики для вимірювання споживаної потужності і електроенергії. Енергетичні метрики можуть бути використані як для оцінювання енергоспоживання окремих програмних компонентів, так і на всьому архітектурному рівні[7]. Результати вимірювань за допомогою даної групи можна виражати за допомогою декількох одиниць:

- Джоуль (Дж) - одиниця виміру енергії;
- Ватт (Вт) - одиниця виміру потужності;
- Ампер(А) - одиниця виміру сили струму;
- кВтг - одиниця виміру спожитої електроенергії;
- Байт/кВтг - показує залежність між отриманими вихідними даними і спожитої на це електроенергією;
- Кількість раз – перераховує елементи(наприклад кількість звертань до пам'яті у програмному коді).

Метрики продуктивності визначають показники для вимірювання безпосередньо ефективності, наприклад пропускна здатність, час відповіді [7]. Результати вимірювань виражаються в:

- GFLOPS/кВтг – визначає відношення між продуктивністю обчислень і потужністю, споживаною у відповідний період часу;
- Обчислювальний блок/кВтг – визначає споживану енергію кожним обчислювальним блоком;
- Секунди – визначає час;

- Кількість разів – описано вище;
- Відсоток – визначає процентне співвідношення критеріїв.

Група що вимірює використання пов'язана з вимірюванням обчислювальних ресурсів, таких як жорсткий диск, пам'ять і операції введення – виведення. Дані метрики виражаються з точки зору [7]:

- Мегабайт (МБ) – кількість пам'яті, що використовується;
- Мегагерц (МГц) – для визначення тактової частоти ЦП;
- ГБ/с – визначає співвідношення обробленої інформації до часу витраченого на це;
- Відсоток – описано вище.

Група економічних метрик призначена для оцінки витрат на застосування зелених рішень. Крім того вони враховують економічний ефект від отриманої економії енергії [7]. Адже завжди існує можливість, що витрати на впровадження зелених методик набагато перевищать позитивний ефект від їх використання. Основною одиницею виміру є грошовий еквівалент, в нашому випадку гривня (UAH).

Група продуктивність / енергія є гібридною і визначає показники які відношення продуктивності і споживаної потужності. Вимірюється в GFLOPS/Вт. При цьому необхідно враховувати на вимірювання яких ресурсів спрямована дана метрика.

Отримавши групи метрик за типом вимірювання, додамо до нашої системи розподілення за ресурсами, які вимірюють за допомогою цих метрик. В ході аналізу було виділено наступні ресурси важливі для енергоспоживання, що представлені нижче.

Додаток - програма або частина інформаційної системи. Вимірюється в конфігурації платформи виконання, видам обміну даними, енергоспоживанням і ін.

Сервіс визначимо як набір функціональних елементів, слабо пов'язаних між собою. Він вимірюється з точки зору продуктивності, доступності, часу відгуку або надійності [7].

Економічний ресурс розглянемо як сукупність доходів або витрат отриманих від впровадження того чи іншого рішення. Він вимірюється по відношенню до енергоспоживання, життєвому циклу програми або дотриманню правил [7,8].

Пам'ять визначається як блоки пам'яті з довільним доступом, що використовуються для зберігання та вилучення тимчасових даних. Вона вимірюється в байтах використовуваної пам'яті та кількості звернень.

ЦП відповідає за інтерпретацію і виконання програмних інструкцій. Існує можливість визначити відсоток його використання або оцінити максималь-

но допустиму тактову частоту по відношенню до заздалегідь визначених граничних значень.

Сховище являє собою незалежну пам'ять для зберігання великих обсягів інформації в електронному вигляді. Вимірюється в байтах, зайнятих на пристрої зберігання інформації та енергії, спожитої на читання/запис інформації.

Програмний код являє собою набір програмних інструкцій, написаних певною мовою. Він вимірюється як кількість виконаних інструкцій, кількість виконаних звернень до пам'яті або середнє споживання енергії кожною командою.

Потужність визначає швидкість з якою енергія передається, використовується або трансформується. Таким чином це кількість енергії спожитої кожним елементом програмного забезпечення. Вона вимірюється з точки зору використання та ефективності.

Спосіб розробки визначається як безліч етапів розробки програмного забезпечення. Він вимірюється з точки зору споживання енергії при прийнятті певного стилю розвитку, який є набором методик і прийомів для проектування, впровадження і розгортання програмного забезпечення системи [7].

Обчислювальний блок є частиною програми або системи, яка обробляє певний тип даних. Він вимірюється з точки зору споживання енергії [7].

СУБД являє собою пакет з комп'ютерними програмами, які контролюють створення і використання безлічі баз даних. Вона вимірюється з точки зору вартості енергії кожного окремого запиту і використовується для створення оптимізованої версії запитів, які вимагають занадто багато енергії, щодо встановленого порога.

Мережа визначається як ряд з'єднаних між собою комп'ютерів. Вимірюється з точки зору даних, обмінюваних всередині самої мережі.

Сервер являє собою комп'ютер або комп'ютерну програму, яка управляє доступом до централізованої ресурсу або послуги в мережі. Він вимірюється в плані енергоспоживання [9].

Система представлена як набір взаємодіючих або взаємозалежних програмних компонентів, що формують єдине ціле. Вимірюється з точки зору енергоспоживання.

Останнім кроком систематизування метрик буде визначення їх призначення – для вимірювання чи оцінювання. Вимірювальні представляють реальну оцінку ПЗ, яку можна отримати за допомогою метрики або розрахунку на основі одного або декількох експериментів. Призначені для оцінювання навпроти дають теоретичний прогноз або наближене значення майбутнього результату вимірювання, виробленого за допомогою даної метрики [9].

Таким чином ми отримали систему зелених метрик для аналізу енергоефективності ПЗ. Всього було проаналізовано 54 метрики. Наявні метрики ми систематизували за допомогою шаблону представленого у таблиці 1.

2. Інструменти для визначення метрик

Для визначення метрик отриманих вище необхідні відповідні інструменти. Порівняльний аналіз таких інструментів представлений в таблиці 2.

В якості критеріїв порівняння були використані основні функції, необхідні для оцінки енергоефективності програм.

Всі інструменти володіють тими чи іншими перевагами і недоліками. При цьому жоден з інструментів у цілому не володіє необхідним функціоналом для визначення всіх необхідних метрик.

Таким чином виникає необхідність у розробці нового інструменту для аналізу енергоефективності програмного забезпечення на базі представлені системи метрик.

На основі проведеного аналізу було складено ряд вимог для такого інструменту.

Кросплатформеність. Передбачити підтримку ОС Windows і Linux, а так само забезпечити можливість портування на мобільні ОС.

Навантаження. Система повинна додавати мінімальну помилку в проведені експерименти (не більше 5 %).

Формат зберігання даних. Формат має бути розширюваним, орієнтованим на зберігання параметрів і результатів експериментів.

Джерело даних. Враховуючи що існує три рівня отримання інформації [9] – вимірювальний прилад, драйвер батареї і API ОС, вимірювання на кожному рівні повинно бути незалежним і взаємозамінним.

Система метрик. Інструмент повинен мати розширений набір зелених метрик для аналізу з можливістю модифікації.

Висновок

Оптимізація енергоспоживання може виконуватися як на апаратному так і на програмному рівні. Для цього в даний час існує ряд активно застосовуються підходів. Разом з тим, все більший інтерес викликає оптимізація на рівні прикладних програм – написання енергоефективного програмного забезпечення. Проте для цього треба мати систему якісних критеріїв та інструменти для їх обчислення.

Необхідними для реалізації такого підходу властивостями володіють зелені метрики.

У роботі проведено аналіз існуючих зелених метрик, на основі якого було проведено їх систематизування.

Отримана система зелених метрик, яка дає змогу реалізувати підхід до оцінки програмного забезпечення, що складається в тому, щоб пов'язати оцінювання його якості у використанні по аспекту енергоефективності з оцінкою переваг застосування в конкретному процесі розробки.

На базі отриманої системи зелених метрик було проведено аналітичне тестування існуючих інструментів вимірювання енергоефективності програмного забезпечення. Була виявлена необхідність у створенні нового інструменту, що зумовлено недостатнім функціоналом існуючих для проведення повномірного аналізу енергоефективності. Грунтуючись на цьому було складено ряд необхідних вимог для таких інструментів.

Таблиця 1

Шаблон для систематизування зелених метрик

	Зміст	Тип вимірювання	Об'єкт вимірювання	Призначення
Використання пам'яті	Відсоток використання оперативної пам'яті	Відсоток	Пам'ять	Вимірювання

Таблиця 2

Порівняльна характеристика інструментів для аналізу енергоефективності програмного забезпечення

	ОС	Вимірювання поточної споживаної потужності	Аналіз C-State станів	Збір інформації про центральний процесор	Відображення результатів у реальному часі	Період оновлення даних	Виведення результатів у файл	Прив'язка до програмного коду
PowerTop	Linux, Solaris	Так	Так	Так	Так	15	Ні	Ні
Joulemeter	Windows	Так	Ні	Ні	Так	1	Так	Ні
Intel Power Gadget	Windows, OS X, Linux	Так	Так	Так	Так	1	Так	Ні
Intel VTune Amplifier	Windows, Linux	Так	Так	Так	Так	1	Ні	Так
Perfmon	Windows	Так	Так	Так	Так	1	Так	Ні
Intel Power Checker	Windows	Так	Так	Ні	Ні	Не вказано	Так	Ні
Intel Power Informer	Windows	Так	Так	Так	Ні	1	Так	Ні

Література

1. Barroso, L. A. *The case for energy-proportional computing [Text]* / L. A. Barroso, U. Hölzle // *Computer*. – 2007. – № 40 (12). – P. 33–37.

2. Saxe, E. *Power-efficient software [Text]* / E. Saxe // *Commun. ACM*. – 2010. – № 53 (2). – P. 44–48.

3. *International Organization for Standardization. 2005. Software engineering - Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). – Guide to SQuaRE 35.080 35.080, ISO/IEC 25000:2005 (E).*

4. Capra, E. *Is software green? Application development environments and energy efficiency in open source applications [Text]* / E. Capra, C. Francalanci, S. A. Slaughter // *Information and Software Technology*. – 2011. – № 54. – P. 60–71.

5. Fenton, N. E. *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach [Text]* / N. E. Fenton, S. L. Pfleeger // London, International Thomson Computer Press. – 1996.

6. Bekas, C. *A new energy aware performance metric [Text]* / C. Bekas, A. Curioni // *Computer Science – R&D*. – 2010. – Vol. 25. – P. 187–195.

7. Kipp T. *Layered Green Performance Indicators. [Text]* / T. Kipp, M. Jiang, Fugini, I. Salomie // *Future Gener. Comput. Syst.* – 2012. – № 28(2). – P. 478–489.

8. Mazzucco, M. *Balancing electricity bill and performance in server farms with setup costs [Text]* / M. Mazzucco, D. Dyachuk // *Future Generation Computer Systems*. – 2012. – № 28(2). – P. 415–426.

9. *An integrated approach to resource pool management: Policies, efficiency and quality metrics [Text]* / D. Gmach, J. Rolia, L. Cherkasova, G. Belrose, T. Turicchi, A. Kemper // *In DSN*. – 2008. – P. 326–335.

Поступила в редакцію 03.03.2014, рассмотрена на редколлегии 24.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. О. Мищенко, Харьковский национальный университет, Харьков, Украина.

АНАЛИЗ ЗЕЛЕННЫХ МЕТРИК И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А. Ю. Кривцов, С. В. Гонтовой

В работе рассмотрены вопросы оценки энергоэффективных программного обеспечения. Проанализированы существующие зеленые метрики и предложен метод их систематизации. Получена система зеленых метрик, которая дает возможность реализовать подход к оценке программного обеспечения. На основе полученной системы зеленых метрик проведено аналитическое тестирование инструментов оценки энергоэффективности программного обеспечения. Выявлены их недостатки и определена потребность в создании полнофункционального инструмента. Составлен ряд необходимых требований к такому инструменту.

Ключевые слова: энергоэффективность, зелёные метрики, качество программного обеспечения.

ANALYSIS OF GREEN METRICS AND TOOLS FOR EVALUATING ENERGY EFFICIENCY OF SOFTWARE

A. Y. Kryvtsov, S. V. Hontovyi

The evaluation question of the software energy efficiency is discusses in this article. Existing green metrics is analyzed and the method of their classification is proposed. The system of green metrics is obtained. This system allows to realize an approach of software estimating. On the basis of green metrics system analytical testing tools to assess energy efficiency software is performed. Their shortcomings is revealed and a need for the creation of a full-featured tool is identified. A number of essential requirements for this a tool is compiled.

Key words: energy efficiency, green metrics, software quality.

Кривцов Андрій Юрійович – аспірант кафедри " Спеціалізовані комп'ютерні системи", Донбаський державний технічний університет, Алчевськ, Україна, e-mail: andrewdgtu@mail.ru.

Гонтовий Сергій Вікторович – канд. техн. наук, завідувач кафедри "Спеціалізовані комп'ютерні системи", Донбаський державний технічний університет, Алчевськ, Україна, e-mail: gsv@dmmti.edu.ua.