

УДК 519.2

М.В. Ткачук, О.В. Векшин, Д.М. Місюта

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

АЛГОРИТМІЧНА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Розглянуто основні проблеми розробки та експлуатації сучасних мобільних систем доповненої реальності (МСДР), особливу увагу приділено необхідності побудови адаптивних механізмів управління обчислювальними ресурсами таких систем. Для вирішення цієї задачі запропонована алгоритмічна модель процесу управління ресурсами МСДР, яка передбачає структурування відповідного інформаційного базису та застосування методів аналізу прецедентів для пошуку ефективних рішень в процесі налаштування параметрів МСДР за умов змін обчислювального навантаження в процесі її функціонування. Розроблено програмний прототип адаптивної МСДР та проведено експериментальне дослідження працездатності запропонованого підходу.

Ключові слова: алгоритмічна модель, адаптивне управління, доповнена реальність, мобільна система.

Вступ

При розробці сучасного програмного забезпечення (ПЗ) у різних предметних галузях все частіше застосовуються загальні принципи створення складних систем і, зокрема, кібернетичні схеми адаптивного управління компонентами ПЗ із застосуванням відповідних моделей прийняття рішень та метрик для оцінки їх ефективності [1]. Ці підходи є актуальними і для створення такого нового класу програмних застосувань як мобільні інформаційні системи різного призначення. При проектуванні та подальшому функціонуванні таких систем необхідно забезпечувати ефективно використання їх обмежених апаратних та обчислювальних ресурсів для реалізації алгоритмів бізнес-логіки у реальному масштабі часу [2]. Один із можливих підходів до вирішення цієї актуальної науково-практичної задачі розглядається в подальшому у цій статті на прикладі розробки та дослідження адаптивного механізму управління ресурсами мобільних систем доповненої реальності.

1. Предметна область, актуальність та постановка задачі дослідження

Доповнена реальність (augmented reality) – це одна з сучасних інформаційних технологій створення віртуальних моделей об'єктів реального світу, яка передбачає можливість їх поєднання в реальному масштабі часу із додатковими даними у вигляді тексту, зображень, відео та звуку [3]. На теперішній час ця технологія у вигляді мобільних систем доповненої реальності (МСДР) знаходить широке застосування у таких областях як туристичний бізнес, електронна комерція, 3D-прототипування та деякі інші [4, 5]. З точки зору технологій реалізації МСДР можна виділити такі їх типи як [5]: маркерні, безмаркерні, геолокаційні та МСДР, що побудовані на основі технологій використання інфрачервоних датчиків.

Основна парадигма створення сучасних МСДР полягає у необхідності пошуку компромісу між впли-

вом двох взаємопротилежних факторів на процесі їх розробки та подальшої реалізації, а саме: це вимоги до мінімізації розмірів мобільного пристрою (МП) та забезпечення відповідної обчислювальної потужності для можливості функціонування МСДР у реальному часі.

Суттєвими при розробці цих систем є також проблеми, що пов'язані з процесом побудови та використання візуальних віртуальних об'єктів, а саме: організація сховища віртуальних об'єктів і розробка засобів доступу до нього; забезпечення необхідного ступеня візуальної реалістичності та якості зображення віртуальних об'єктів [4, 6].

У даній статті розглядається один із можливих підходів до вирішення проблеми ефективного використання обчислювальних ресурсів МП, що входить до складу МСДР. Для цього проведено аналіз деяких технологій до побудови адаптивних мобільних інформаційних систем (МІС), визначено специфічні обчислювальні ресурси та показники якості процесу адаптації у МСДР, запропоновано алгоритмічну модель процесу адаптивного управління ресурсами МСДР із використання методів аналізу прецедентів. Для оцінки працездатності запропонованого підходу розроблено програмний прототип МСДР із вбудованими компонентами адаптивного управління, проведено ряд програмних експериментів та проаналізовано отримані при цьому результати.

2. Деякі підходи до розробки адаптивних механізмів управління в МІС

На теперішній час найбільш популярними платформами для розробки МІС загального призначення є такі інструментальні засоби як: Metaio Platform SDK, D' Fusion Mobile та Qualcomm [6].

Слід зазначити, що в сучасній програмній інженерії взагалі і при розробці МІС зокрема, однієї з основних тенденцій є адаптація їх ПЗ [6, 7]. Існує декілька підходів до вирішення цієї проблеми, які

були реалізовані у наступних проєктах: Q-CAD (QoS and Complex Aware Discovery – Якість обслуговування ПЗ з урахування його складності), MADAM (Mobility and Adaptation Enabling Middleware – Мобільне та адаптивне ПЗ проміжного рівня), ITS-MUSIC (Self Adapting Applications for Mobile Users in Ubiquitous Computing Environments – Адаптивне ПЗ для мобільних користувачів в середовищі розподілених обчислень) та деякі інші.

Проєкт Q-CAD - це платформа створення МІС для гнучкого пошуку Інтернет-ресурсів, що відповідають вимогам користувачів. Платформи MADAM та ITS-MUSIC пропонують модельний - керований (model-driven) підхід до розробки МІС, використання якого дозволяє будувати їх із вбудованими механізмами рекурсивної композиції програмних компонентів [6]. Це забезпечує можливість адаптації ПЗ МІС шляхом підключення різних реалізацій компонентів з відповідними інтерфейсами та схожою функціональністю. Також в [8] запропоновано новий підхід до композиції гетерогенних програмних компонентів при розробці контекстно-орієнтованих МІС.

На основі навіть стислого аналізу цих проєктів можна зазначити, що жоден з них не враховує можливості алгоритмічної адаптації функціонування ПЗ МСДР. Такий підхід має забезпечити можливість керованого розподілу процесу обробки даних у МІС між її серверною та клієнтською частиною, з метою підвищення ефективності використання обмежених обчислювальних ресурсів МП.

В подальшому одна з можливих реалізацій такого загального підходу розглядається саме для МСДР, як одного з важливих для практичного застосування типів МІС (див. попередній розділ). На рис. 1 зображена спрощена технологічна схема функціонування маркерної МСДР [3]. Маркерні МСДР [6] використовують різні технології розпізнавання спеціальних маркерів: QR-маркерів [9] або маркерів із штрих-кодом [10], які потрапляють у поле зору камери МП. У якості типового прикладу таких систем можна навести, наприклад, систему QR Droid [11].

3. Алгоритмічна модель адаптивного управління ресурсами МСДР

3.1. Формалізоване визначення алгоритмічної моделі

У формалізованому вигляді запропонована алгоритмічна модель (АМ) може бути подана у вигляді наступного кортежу

$$AM = \langle \text{InfoBase}, \text{Algorithm}(\text{Methods}), \text{Metrics} \rangle, (1)$$

де InfoBase – інформаційний базис моделі; Algorithm(Methods) – множина алгоритмів адаптації, які реалізовані на основі використання певних методів пошуку рішень (Methods); Metrics – множина метрик, які визначають якість процесів адаптації.

Вибір множини методів адаптації Methods у виразі (1) залежить від особливостей того типу задач

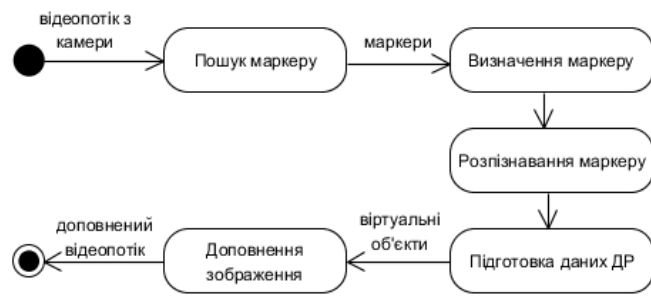


Рис. 1. Технологічна схема функціонування маркерної МСДР [3]

адаптації, які мають бути вирішені у відповідній МСДР, и один із можливих варіантів такого вибору розглянуто нижче.

В свою чергу, інформаційний базис (InfoBase) можна представити як кортеж множин

$$\text{InfoBase} = \langle \text{System_Data}, \text{Methods_Data} \rangle, (2)$$

де System_Data – це дані, які характеризують технологічні процеси в МСДР; Methods_Data – це дані, які є необхідними для реалізації множини алгоритмів адаптації Algorithm(Methods).

Множина метрик Metrics у виразі (1) також визначається з урахуванням особливостей апаратно-програмних засобів реалізації МП у тій МСДР, в якій мають бути реалізовані відповідні механізми адаптації (див., наприклад, в [2, 5, 6]).

3.2. Застосування методів аналізу прецедентів в алгоритмічній моделі адаптивної МСДР

При розробці АМ адаптивного управління ресурсами МСДР слід враховувати те, що процеси функціонування її апаратно-програмних компонентів мають слабоформалізований та багатовимірний характер, і тому для їх моделювання доцільно застосовувати так звані методи м'яких обчислень (soft calculation) [12]. До таких підходів належать, зокрема, група методів логічного виводу на основі аналізу прецедентів (case-based reasoning - CBR) [13], і відповідно до цього множина алгоритмів у АМ із виразу (1) визначається у наступний спосіб:

$$\text{Algorithm}(\text{Methods}) = (\text{NNM}, \text{kNNM}, \text{kwNNM}), (3)$$

де NNM (nearest neighbor method) – це метод найближчого сусіда, kNNM (k – nearest neighbors method) – це метод k найближчих сусідів; kwNNM (k - weighted nearest neighbors method) – це метод k-зважених найближчих сусідів.

Кожен з цих методів базується на припущенні, що для розв'язання певної проблеми можливо використовувати вже існуючі рішення, які були застосовані у подібних ситуаціях. Для цього використовується поняття прецеденту (case), а окремі CBR-методи з виразу (3) відрізняються тим, яким саме чином відбувається пошук тих прецедентів, що є найбільш ефективними для розв'язання поточної проблемної ситуації.

3.3. Структурування інформаційного базису алгоритмічної моделі

У відповідності з виразом (1), компонента InfoBase – це інформаційний базис АМ, який має забезпечити можливість застосування СВР-методів пошуку рішень, які визначені за виразом (2). Основними елементами цього базису є множина прецедентів, кожен з яких має наступний вигляд:

$$\text{Case} = (\bar{p}, \bar{s}), \quad (4)$$

де вектор \bar{p} – вектор параметрів опису проблемної ситуації, що виникає в процесі функціонування МСДР, \bar{s} – вектор параметрів рішення, яке має бути застосовано для вирішення цієї проблеми.

Враховуючи особливості функціонування МП у складі МСДР, вектор p можна визначити як:

$$\bar{p} = (\text{CPU}, \text{RAM}, \text{BAT}, \text{RES}, \text{FPS}), \quad (5)$$

де CPU – поточне значення зайнятості процесору МП; RAM – поточне значення зайнятості ОЗУ МП; BAT – поточне значення використання батареї МП; RES = {res_i}, де i=1..n – доступні розміри потоку відеозображення, що підтримуються даним МП; FPS – мінімальна доступна частота кадрів.

Вектор опису рішення складається з таких параметрів:

$$\bar{s} = (\text{width}, \text{height}), \quad (6)$$

де width та height – відповідно, значення ширини та висоти відеозображення на МП.

3.4. Вибір метрик оцінки ресурсів адаптації МСДР

В роботі [5] зазначено, що на продуктивність клієнтського застосування МСДР впливає розподільча здатність екрану МП і, таким чином, показник кількості кадрів в секунду (FPS) може використовуватися як один із елементів множини метрик Metrics у виразі (1). Цей показник залежить від декількох параметрів: обчислювальної потужності процесору, об'єму ОЗП, розподільчої здатності екрану та роздільної здатності відеокамери МП. Таким чином, колекція метрик має такий вигляд:

$$\text{Metrics} = (T, S), \quad (7)$$

де T – метрика, яка визначає частоту кадрів відео потоку за одиницю часу; S – метрика використання ресурсів МП.

Метрика T визначається кількістю кадрів за секунду (FPS), яка обчислюється за допомогою відповідної функції Count():

$$T = \text{Count}(\text{FPS}). \quad (8)$$

Метрика S визначає індекс продуктивності МП, який є безрозмірною величиною та визначається за наступною формулою:

$$S = w_c \frac{\text{CPU}_{\text{cur}}}{\text{CPU}_{\text{total}}} + w_r \frac{\text{RAM}_{\text{cur}}}{\text{RAM}_{\text{total}}} + w_b \frac{\text{BAT}_{\text{cur}}}{\text{BAT}_{\text{total}}}, \quad (9)$$

де CPU_{cur} – поточне значення завантаження процесору, %; RAM_{cur} – поточне значення завантаження ОЗП, кБ; BAT_{cur} – поточне значення зайнятості батареї, мАг; CPU_{total} – повне значення завантаження процесору, %; RAM_{total} – повне значення завантаження ОЗП, кБ; BAT_{total} – повне значення завантаження батареї відповідно, мАг; w_c, w_r, w_b – це коефіцієнти ваги відповідного компоненту, при цьому має бути виконана умова w_c + w_r + w_b = 1. У даній роботі визначені наступні рівні індексу навантаження на МП: критичний S ≥ 0.95; високий 0.8 ≤ S < 0.95; нормальний 0.25 ≤ S < 0.8; низький 0 ≤ S ≤ 0.25.

Таким чином, метрики за виразами (7) – (9) дозволяють оцінити обчислювальні можливості МП у складі МСДР.

4. Програмна реалізація прототипу адаптивної МСДР

Для перевірки працездатності запропонованого підходу розроблено прототип МСДР із вбудованим блоком адаптивного управління (БАУ). Ця МСДР в режимі реального часу визначає кінофільм за його постером у відповідній базі даних (БД) та доповнює його зображення цифровою інформацією. БАУ аналізує параметри функціонування МСДР та адаптує розмір кадру з урахуванням апаратних ресурсів та поточного стану МП. Алгоритм функціонування розробленого прототипу адаптивної МСДР наведено на рис. 2 у вигляді діаграми діяльності UML.

На рис. 3 зображено 3-х рівневу компонентну програмну архітектуру МСДР, до переваг якої можна віднести достатньо високу масштабованість, безпеку обробки даних та менші вимоги до параметрів клієнтських МП.

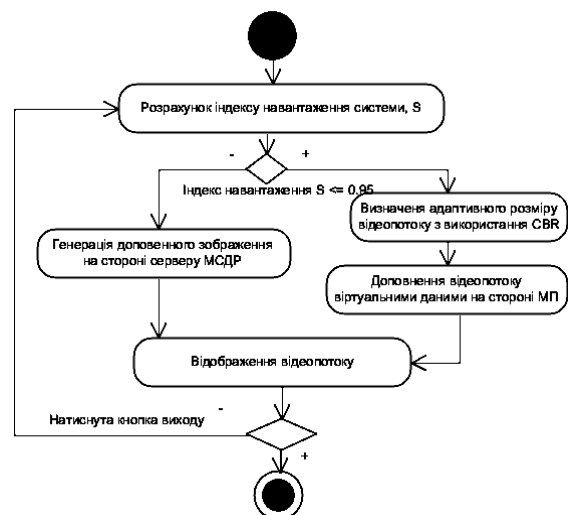


Рис. 2. Загальний алгоритм функціонування адаптивної МСДР

Функції БАУ на вузлі МП (Android Device) реалізують наступні компоненти: PrecedentStorage – це локальна БД прецедентів, SystemMonitor – це компонент, що надає дані про поточний стан МП, та

ACU – це компонент, який реалізує методи CBR на клієтській частині МСДР. На вузлі серверу процес адаптації підтримують наступні компоненти: Precedent DB Processor – це компонент для доступу до централізованої БД прецедентів Precedent DB та Data Analyzer – це компонент, що реалізує пошук по хеш-коду [21] зображення кінофільму.

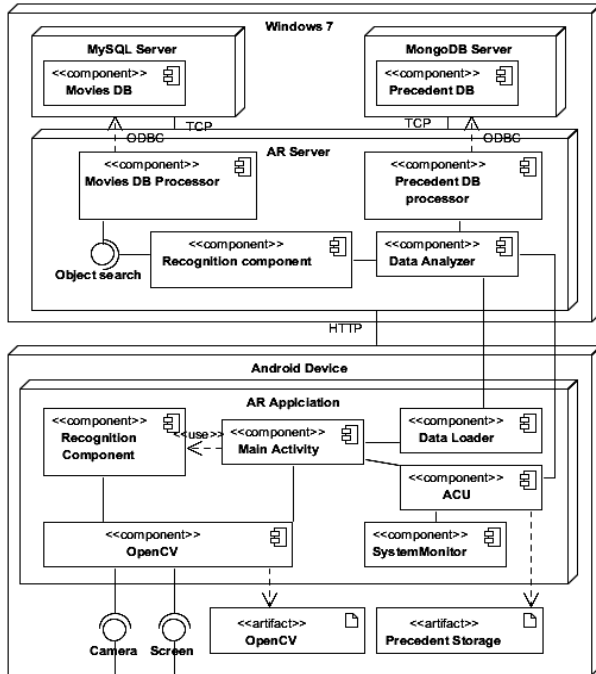


Рис. 3. Діаграма розгортання компонентів МСДР

Клієнтська частина МСДР в цьому прототипі реалізована на платформі Android [14] з використанням вбудованої СКБД Berkeley DB [15] та застосуванням бібліотеки OpenCV[16]. Серверна частина системи розроблена на мові програмування PHP [17], із використанням контейнеру web-застосувань Apache [18] і 2-х СКБД: MySQL [19] та MongoDB [20].

В рамках даного архітектурного рішення побудовано три БД: 1) локальна вбудована БД прецедентів, що використовує БАУ (PrecedentStorage); 2) віддалена, централізована БД з усіма прецедентами, з якою синхронізується локальна БД (Precedent DB); 3) БД фільмів, що містить інформацію про фільми (Movies DB). Модель даних однієї з цих БД, а саме Precedent DB, зображена на рис. 4 у вигляді UML діаграми класів. Для розробки цієї БД було використано нереляційну (No-SQL) СКБД MongoDB [20].

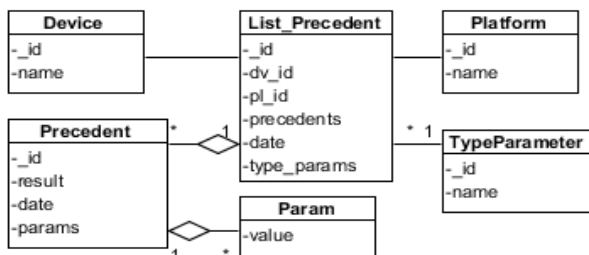


Рис. 4. Концептуальна модель даних прецедентів у формі діаграми класів

5. Дослідження працездатності запропонованого механізму адаптації

З метою дослідження працездатності розробленого прототипу МСДР було проведено експерименти за такою схемою: 1) вибір пристроїв для проведення експерименту; 2) генерація тестової БД прецедентів; 3) запуск МСДР із різними режимами роботи БАУ. Для тестування було обрано 2 типа МП, характеристики яких наведено у табл. 1. На рис. 5 представлено приклад кортежу, що описує окремий прецедент в БД.

Таблиця 1

Технічні характеристики тестових МП

Назва пристрою	Процесор	Оперативна пам'ять	Макс. розподільча здатність
Nexus 7	Qualcomm APQ8064 1,5 ГГц	2 ГБ RAM	1920x1080
Fly IQ4416	MT6572 (1.3 ГГц)	512 МБ RAM	800x600

№	Результат	CPU	RAM	BATTERY	RESOLUTION	FPS
1	640x480	0.7	0.7	0.4	800x600	13
2	800x600	0.2	0.5	0.9	640x480	17
3	1024x768	0.3	0.8	0.5	1920x1080	2

Рис. 5. Приклад кортежу в БД прецедентів

Із використанням тестових МП було проведено дві серії запусків МСДР: з вимкненим БАУ (тобто без адаптації) та з активним БАУ (з адаптацією). При тестових запусках МСДР проводилися виміри встановленої розподільчої здатності екрану МП в умовах різного значення індексу навантаження на МП (див. формулу (9)). Результати цих експериментів наведені в табл. 2 та 3 відповідно.

Таблиця 2

Результати експерименту в умовах вимкненого БАУ

МП	Розподільча здатність	T (FPS) при $0.4 \leq S < 0.6$	T (FPS) при $0.6 < S \leq 0.8$
Nexus 7	640x480	15	13
Nexus 7	800x600	14	10
Fly IQ4416	800x600	10	9
Fly IQ4416	480x320	15	14

З табл. 2 видно, що за умов певного значення розподільчої здатності та при збільшенні індексу навантаження відповідно змінюються значення метрики T(FPS) в інтервалі [9, 13], тобто розбіг значень сягає 35,7%, що зумовлено відсутністю режиму адаптації МСДР у цьому експерименті.

Таблиця 3

Результати експерименту в умовах функціонуючого БАУ

МП	Розподільча здатність $0.4 \leq S < 0.6$	T (FPS)	Розподільча здатність $0.6 < S \leq 0.8$	T (FPS)
Nexus 7	1024x768	11	800x600	13
Nexus 7	800x600	14	640x480	16
Fly IQ4416	640x480	13	640x480	14
Fly IQ4416	800x600	9	640x480	13

У разі активації БАУ вплив збільшення навантаження на МП корегується системою шляхом вибо-

ру іншого значення розподільчої здатності екрану МП, що в свою чергу, підтримує стабільні значення метрики T(FPS), які змінюються не більш ніж на 18,75%. Таким чином, режим адаптивного управління забезпечує більш якісне зображення відеопотоку на МП користувача МСДР.

Висновки

У даній статті запропоновано підхід до вирішення проблеми адаптивного управління обчислювальними ресурсами мобільних систем доповненої реальності (МСДР). Для цього проведено аналіз деяких загальних підходів до побудови адаптивних мобільних застосувань, визначено специфічні обчислювальні ресурси та показники якості процесу адаптації у МСДР, запропоновано алгоритмічну модель процесу адаптивного управління ресурсами МСДР із використанням методів аналізу прецедентів. Для оцінки працездатності запропонованого підходу розроблено прототип МСДР із вбудованими блоком адаптивного управління, проведено ряд програмних експериментів, результати яких підтвердили можливість адаптації її ресурсів з метою забезпечення більш якісного функціонування мобільних пристроїв користувачів МСДР.

Список літератури

1. Joao W.C. *Software Cybernetics* / W.C. Joao, D.M. Scott, C. Kai-Yuan, P.M. Aditya // *Encyclopedia of Computer Science and Engineering*. – John Wiley and Sons, 2007.
2. Векшин О.В. Деякі проблеми розробки адаптивного програмного забезпечення мобільних інформаційних систем та підхід до їх вирішення / О.В. Векшин, М.В. Ткачук, В.В. Косенко // *Вісник НТУ "ХПІ"*. – X, 2012. – № 29. – С. 22-29.
3. Azuma R. *Survey of Augmented Reality* / R. Azuma // *Teleoperators and Virtual Environments*. – 1997. – С. 355-385.
4. Благовецкий И.А. Технологии и алгоритмы для создания дополненной реальности / И.А. Благовецкий, Н.А. Демьянков // *Моделирование и анализ информационных систем*. – 2013. – Т 10, № 2. – С. 129-138.
5. Векшин О.В. *Розробка прототипу та дослідження продуктивності маркерної мобільної системи доповненої реальності* / О.В. Векшин, М.В. Ткачук, М.О. Пантелеєв // *Вісник НТУ "ХПІ"*. – X, 2014. – № 55 (1097). – С. 11-18.

6. Vekshyn O. *Algorithmic Software Adaptation Approach in Mobile Augmented Reality Systems* / O. Vekshyn, M. Tkachuk // *7-th Int. Conf. on Software Eng. Advances, ICSEA 2012, Lisbon, Portugal, 18-23 November, 2012*. – P. 40-43.
7. Kakousis K. *A survey of software adaptation in mobile and ubiquitous computing* / K. Kakousis, N. Paspallis, G.A. Papadopoulos // *Enterprise Information Systems*. – 2010. – Vol. 4, Nov. – P. 355-389.
8. Camara J. *On run-time behavioural adaptation in context-aware systems* / J. Camara, G. Salaun, C. Cana // *Proc. 1st Workshop on Model-driven Software Adaptation (M-ADAPT'07 at ECOOP 2007)*, 2007. – P. 26-34.
9. Сайт проекту QRCode. – Режим доступу: <http://www.qrcode.com/>. – Дата зверт.: 18 жовтня 2015.
10. Barcodes & ID Key Standards. – Режим доступу: <http://www.gs1.org/gsm/ke/barcodes>. – Дата зверт.: 18.10.2015.
11. QR Droid. – Режим доступу: <https://play.google.com/store/apps/details?id=la.droid.qr&hl=ru>.
12. Aliev A. *Soft Computing and its Applications* / A. Aliev, R. Aliev // *World Scientific*. – 2001.
13. Aamodt A. *Case-Based Reasoning: Found. Issues, Methodological Variations, and System Approaches* / A. Aamodt, E. Plaza // *AI Communications*. – 1994. – 7(1). – P. 39-59.
14. Android офіц. сайт проекту. – Режим доступу: <http://www.android.com>. – Дата звертання: 18.10.2015.
15. Oracle Berkeley DB офіц. сайт проекту. – Режим доступу: <http://www.oracle.com/technetwork/database/database-technologies/berkeleydb/overview/in.html>.
16. OpenCV офіц. сайт проекту. – Режим доступу до сайту: <http://www.opencv.org>. – Дата зверт.: 18.10.2015.
17. PHP офіційний сайт проекту. – Режим доступу: <http://www.php.net>. – Дата зверт.: 18 жовтня 2015.
18. Apache офіц. сайт проекту. – Режим доступу до сайту: <http://www.apache.org/>. – Дата зверт.: 18.10.2015.
19. MySQL офіц. сайт проекту. – Режим доступу до сайту: <http://www.mysql.com>. – Дата зверт.: 18.10.2015.
20. MongoDB офіційний сайт проекту. – Режим доступу: <http://www.mongodb.org>. – Дата зверт.: 18.10.2015.
21. Вурт Н. *Алгоритмы и структуры данных* / Н. Вурт. – М.: Мир, 1989.

Надійшла до редколегії 2.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.И. Шматков, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Н.В. Ткачук, А.В. Векшин, Д.Н. Мисюта

Рассмотрено основные проблемы разработки и эксплуатации современных систем дополненной реальности (МСДР), особое внимание уделено необходимости построения адаптивных механизмов управления вычислительными ресурсами таких систем. Для решения этой задачи предложена алгоритмическая модель процесса управления ресурсами МСДР, которая предполагает структурирование соответствующего информационного базиса и применение метода анализа прецедентов для поиска эффективных решений в процессе настройки параметров МСДР в условиях изменения вычислительной нагрузки в процессе ее функционирования. Разработан программный прототип адаптивной МСДР и проведено экспериментальное исследование работоспособности предложенного подхода.

Ключевые слова: алгоритмическая модель, адаптивное управление, дополненная реальность, мобильная система.

ALGORITHMIC MODEL FOR RESOURCES ADAPTIVE CONTROL IN MOBILE AUGMENTED REALITY SYSTEM

M.V. Tkachuk, O.V. Vekshyn, D.M. Misyuta

Main problems in mobile augmented reality systems (MARS) development and exploitation have been considered, the special attention paid to the need to development of adaptive mechanisms to control of computing resources in such systems. The algorithmic model of resources control process has been proposed, this model provides structured information basis and uses case-based reasoning method for search of effective solutions in process of MARS's parameters setting under conditions of changing computational loading in runtime. To prove and to estimate efficiency of the proposed approach the software prototype of the adaptive MARS was developed, and experimental research has been done.

Keywords: algorithmic model, adaptive control, augmented reality, mobile system.