

- залучення студентів до виготовлення слайдів для проведення занять розширює коло завдань для самостійної роботи;
- якісне зображення графів, можливість їх багаторазового перетворення розвиває математичну та графічну культуру майбутнього вчителя.

Використання систем комп'ютерної математики в курсі дискретної математики

- не виключає використання традиційних методів навчання, робить їх більш ефективними та доступними;
- є інструментом, що дозволяє зосередити увагу студентів на логіці методів і алгоритмів, звільняє від необхідності виконання громіздких обчислювальних процедур;
- допомагає навчання принципів алгоритмізації та програмування, оскільки розв'язування задач часто пов'язано з написанням програмних блоків;
- сприяє покращенню засвоєння навчального матеріалу завдяки візуалізації етапів розв'язування;
- викладач може використовувати всі наявні в його арсеналі методичні прийоми;
- при виборі системи комп'ютерної математики для навчання потрібно орієнтуватися на останні версії таких систем як Maple, Mathematica; неефективно використовувати ті системи комп'ютерної математики, можливості використання яких обмежені тільки чисельними розрахунками і робота з якими вимагає написання додаткових модулів.

Використання інформаційних технологій на заняттях з дискретної математики дозволяє реалізувати такі цілі навчання, як розвиток мислення (просторового, алгоритмічного, інтуїтивного, творчого), формування умінь приймати оптимальні рішення, розвиток умінь здійснювати експериментально-дослідницьку діяльність, формування інформаційної культури, умінь здійснювати опрацювання даних.

Список використаних джерел

1. Иванов С.Ю. Дидактический потенциал курса «Дискретная математика» в профильной школе / С.Ю. Иванов, С.М. Окулов // Проблемы подготовки учителя математики к преподаванию в профильных классах: Материалы XXV Всероссийского семинара преподавателей математики ун-тов и пед. вузов. – Киров; М.: ВятГГУ, МГПУ, 2006. – С. 11-14.
2. Иванюк М.Е. Интеграция математического образования студентов факультета информатики педагогического вуза с применением систем компьютерной математики: Автореф. дис... канд. пед. наук. – Самара, 2008. – 38 с.
3. Капустина Т.В. Методологические аспекты использования системы Mathematica в обучении / Т.В. Капустина // Проблемы и перспективы информатизации математического образования: Сборник научных работ, представленных на Всероссийскую научно-методическую школу-семинар. – Елабуга: ЕГПУ, 2004. – С. 10-24.
4. Кудрявцев Л.Д. Современная математика и ее преподавание: учебное пособие для вузов / Л.Д. Кудрявцев. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 176 с.
5. Клековкин Г.А. Дискретная математика: учебное пособие для студентов пед. ун-тов и ин-тов. В 4 ч. Ч. 2. / Г.А. Клековкин, Е.А. Перминов. – Самара: СФ МГПУ, 2005. – 110 с.

Черемісіна Л. О.

НПУ імені М. П. Драгоманова

Моделювання мовного тракту людини та мовна обернена задача в задачах комп'ютерного синтезу

Бурхливий розвиток інформаційних технологій не обійшов стороною і найбільш важливі наукові напрями дослідження інтелектуальної діяльності людини, зокрема ті, що пов'язані з різними аспектами моделювання мовленнєвої діяльності.

Синтезом мови називається процес відновлення форми мовного сигналу за його параметрами. В кінці XVIII століття данський учений Крістіан Кратценштейн, член Російської Академії Наук, створив модель мовного тракту людини, за допомогою якої можна було імітувати п'ять довгих голосних звуків (а, е, і, о, у). У 1778 австрійський учений Вольфганг фон Кампелен створив модель, за допомогою якої вдалося відтворювати певні звуки і їх комбінації. У 1837 учений Чарльз Уїтстоун представив покращений варіант машини, за допомогою якої вдавалося відтворювати голосні і більшість приголосних звуків. В кінці XIX століття відомий учений Олександр Белл створив власну механічну модель, що «говорить», дуже схожу за конструкцією з машиною Уїтстоуна. З початком XX століття почалася ера електронних машин, і вчені дістали можливість використовувати генератори звукових хвиль і на їх базі будувати алгоритмічні моделі.

У 1930-х роках працівник Bell Labs Гомер Дадлі, працюючи над проблемою збільшення передавальних характеристик у телефонії, розробив вокодер (скорочено від англ. *Voice* – голос, англ. *coder* – кодувальник) – керований за допомогою клавіатури електронний аналізатор і синтезатор мови. Ідея Дадлі полягала в аналізованні голосового сигналу, розбору його на частини і пересинтезація у менш вимогливу до пропускових характеристик лінію. Вдосконалений варіант вокодера Дадлі, VODER, був представлений на Нью-Йорській всевітній виставці 1939 року.

При проектуванні і створенні сучасних синтезаторів мови часто використовують звукову базу [1], що містить або віддільні фонемні, або їх сполучення, або повноцінні записи слів, або словосполучення в залежності від підходу до синтезу. На перших етапах створення синтезаторів наповнення бази здійснюється вручну. Але постає питання автоматизації даного процесу з використанням методів сегментації мови.

Існує велика кількість методів сегментації мови, оснований на різних математичних апаратах: дискретному вейвлет-перетворенні [2], динамічному програмуванні [3], перетворенні логарифмічного спектру [4]. За їх допомогою можна отримувати відтворюванні результати сегментації з різною якістю та точністю. Особливою вимогою до методів сегментації є дикторонезалежність, оскільки ця властивість дозволяє, не змінюючи параметрів методу під окремого диктора, отримати базу звуків для різних голосів.

Розглянемо переваги використання вейвлет-аналізу мовних сигналів:

- локалізація в часовому і частотному полі, що дозволяє робити ефективний частотно-часовий аналіз нестационарних сигналів, прикладом яких є мова;
- можливість масштабного перетворення і зсувів (стискування-розтягування досліджуваного сигналу за допомогою хвильових функцій різної періодичності);
- математичний апарат розроблений для локалізації і класифікації особливих точок сигналу;
- відмінно відображається динаміка зміни сигналу уздовж «осі масштабів», локалізація різномасштабних деталей (спектр мови людини радикально змінюється в часі, а характер цих змін – дуже важливі дані).

До сучасних систем синтезу мови пред'являються вимоги розбірливості та природності (натуральності) звучання. Розбірливість передбачає правильне розпізнавання людиною всіх слів синтезованої мови. За допомогою більшості сучасних систем синтезу мови забезпечується добра розбірливість, що наближається до розбірливості природної мови. Природність синтезованої мови оцінюється за тим, наскільки вона схожа на мову живої людини.

Розвиток комп'ютерних мовних синтезаторів привів до розробки кількох підходів до їх побудови, а саме:

- синтез на основі конкатенації відрізків записаних мовленнєвих сигналів, що зберігаються у мовленнєвих базах даних;
- формантний синтез, де не використовуються зразки людської мови для синтезу;
- артикуляторний синтез, на основі якого створюється штучна мова шляхом безпосереднього моделювання людського мовного апарату. За цим методом мова синтезується на базі обчислювальних методів, заснованих на моделях людського мовного апарату і артикуляційних процесах, що відбуваються у ньому.

Моделі мовного апарату, як правило, включають модель мовного тракту і модель голосових зв'язок.

Для побудови та дослідження математичних моделей голосового джерела, за допомогою яких моделюють коливні процеси, та моделей мовного тракту, за допомогою яких моделюють розповсюдження акустичних хвиль, використовуються чисельні методи. Для задачі відновлення параметрів мовного тракту за вимірюваним сигналом на виході використовується математичний апарат розв'язування обернених задач.

Моделі мовного апарату, як правило, включають модель мовного тракту і модель голосових зв'язок. Більшість моделей голосових зв'язок, за допомогою яких можна описати вібрацію голосових зв'язок, є аналоговими. У 1968 році Дж. Фланаган та Л. Ланграф описали коливання голосових зв'язок за допомогою диференціального рівняння коливання мас, підвішених на пружинах з деякою жорсткістю та демпфером, між якими продувається повітря. Пізніше, 1972 року, Дж. Фланаган та К. Ішізака цю модель вдосконалили – кожна голосова зв'язка моделювалася двома масами, з'єднаними між собою пружиною. Згодом ця модель удосконалювалася різними дослідниками.

Кожна зв'язка моделювалася все більшою кількістю мас, що взаємопов'язані між собою [5-9]. З 1995 року почав розроблятися інший тип аналогових моделей – латексних копій реальних голосових зв'язок людини. Такий підхід до моделювання дав змогу змодельовати голосові зв'язки з «вузликами», які відносяться до одного з видів патології. Проте дослідження показали, що змодельовані голосові зв'язки з «вузликами» мають неприродно симетричне розміщення та

однорідну структуру, на відміну від реальних голосових зв'язок людини, а отже не придатні для опису коливань реальних голосових зв'язок [10-11]. На коливання реальних голосових зв'язок людини впливає безліч факторів (фізіологічні, психологічні, кліматичні), тому коливання голосових зв'язок мають випадковий характер.

Внаслідок нерівномірності форми голосового тракту утворені коливання голосових зв'язок відхиляються від прямолінійного поширення, відбиваючись від пасивних та активних органів мовлення. В результаті накладання відбитих коливань відбувається інтерференція цих коливань.

Колівання голосових зв'язок, що утворюється безпосередньо голосовими зв'язками в області їх розміщення, називається основним тоном голосу, а коливання, що утворилися внаслідок інтерференції, – обертонами. Кількість обертонів для кожного голосного звуку різна [12-13]. Отже, вихідний голосовий сигнал людини є сукупністю основного тону та обертонів.

Зауважимо, що частота основного тону знаходиться в діапазоні від 80 Гц до 600 Гц для нормальної висоти голосу, а частоти обертонів завжди вищі від основного тону. Частота основного тону одного і того самого звуку, вимовленого однією людиною протягом всього процесу фонації, змінюється в деякому частотному діапазоні без очевидної закономірності. Цей процес називається варіацією частоти основного тону [14]. Тому в математичній моделі необхідно враховувати випадковість коливань голосових зв'язок.

Розглянемо модель Ішізака і Фланагана [5-7], де кожна з голосових зв'язок описується двома масами, що зв'язані пружинами як зі стінками, так і між собою. Більш того, припускається, що зв'язки є двосторонньо симетричними. Маси, за допомогою яких моделюють зв'язки, піддаються коливанням у поперечному до руху повітря напрямку. Система рівнянь для двох мас записується у вигляді:

$$\begin{cases} m_1 \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} + r_1 \frac{dx_1(t)}{dt} + k_1(x_1(t) - x_{01}) + k_c(x_1(t) - x_2(t)) = l_g d_1 p_{m1}(t), \\ m_2 \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} + r_2 \frac{dx_2(t)}{dt} + k_2(x_2(t) - x_{02}) + k_c(x_1(t) - x_2(t)) = l_g d_2 p_{m2}(t), \end{cases} \quad (1)$$

де m_1 і m_2 – маси;

$x_1(t)$, $x_2(t)$ – зміщення мас m_1 і m_2 ;

x_{01} , x_{02} – початкове положення мас m_1 і m_2 ;

t – час;

r_1 і r_2 – коефіцієнти демпфування;

k_1 , k_2 – пружність пружин для мас m_1 і m_2 ;

k_c – пружність пружини, що з'єднує маси m_1 і m_2 ;

d_1 , d_2 – товщина мас m_1 і m_2 ;

l_g – діюча довжина голосових зв'язок;

$l_g d_1$, $l_g d_2$ – поверхні мас m_1 і m_2 , на які діють тиски $p_{m1}(t)$ і $p_{m2}(t)$ відповідно.

Розподіл тиску в голосовій щілині апроксимується послідовними дискретними кроками p_{ij} на кожному j -му кінці кожної i -ї маси. Перше падіння тиску $p_s - p_{11}(t)$ виводиться з рівняння Бернуллі для ідеальної рідини у стаціонарному режимі. Вздовж кожної з мас падіння тиску $p_{11}(t) - p_{12}(t)$ та $p_{21}(t) - p_{22}(t)$ визначається в'язкими втратами і пропорційне зсувовій в'язкості повітря. Падіння тиску на стику мас $p_{21}(t) - p_{22}(t)$ еквівалентне зміні кінетичної енергії в одиниці об'єму газу. І остаточно різке розширення на верхньому кінці голосової щілини призводить до відновлення тиску до атмосферного тиску p . Таким чином, система рівнянь для змін тиску записується у вигляді (2):

$$\begin{cases} p_s - p_{11}(t) = 0,69\rho \frac{u_g^2(t)}{A_{g1}^2(t)} + \int_0^{l_g} \frac{\rho}{A_c(x)} dx \cdot \frac{du_g}{dt}, \\ p_{11}(t) - p_{12}(t) = 12vd_1 \frac{l_g^2 u_g(t)}{A_{g1}^3(t)} d + \frac{\rho d_1}{A_{g1}} \cdot \frac{du_g}{dt}, \\ p_{12}(t) - p_{21}(t) = \frac{1}{2} \rho u_g^2(t) \left(\frac{1}{A_{g2}^2(t)} - \frac{1}{A_{g1}^2(t)} \right), \\ p_{21}(t) - p_{22}(t) = 12vd_2 \frac{l_g^2 u_g(t)}{A_{g2}^3(t)} + \frac{\rho d_2}{A_{g2}} \cdot \frac{du_g}{dt}, \\ p_{22}(t) - p = \frac{1}{2} \rho \frac{u_g^2(t)}{A_{g2}^2(t)} \left[2 \frac{A_{g2}(t)}{A_1} \left(1 - \frac{A_{g2}(t)}{A_1} \right) \right], \end{cases} \quad (2)$$

де ρ – густина повітря;
 v – зсувова в'язкість повітря;
 A_l – площа голосового тракту на вході;
 A_{gi} – площа голосової щілини під i -ю масою;
 $u_g(t)$ – потік повітря;

$$A_{gi}(t) = (A_{g0i} + 2l_g x_i(t)), i = 1, 2;$$

де $x_1(t) \geq x_{01}, x_2(t) \geq x_{02}$;

A_{g01}, A_{g02} – залишкові площі в момент змикання голосових зв'язок.

Для визначення значень тиску $p_{m1}(t), p_{m2}(t)$ використовуються співвідношення:

$$p_{m1}(t) = \frac{1}{2}(p_{11}(t) + p_{12}(t)),$$

$$p_{m2}(t) = \frac{1}{2}(p_{21}(t) + p_{22}(t)),$$
(3)

Шуканим розв'язком (1) – (3) є функція $u_g(t)$, за якою визначається потік повітря на виході з голосової щілини.

Для побудови та дослідження математичних моделей голосового джерела, за допомогою яких моделюють коливні процеси, та моделей мовного тракту, за допомогою яких моделюють розповсюдження акустичних хвиль, використовуються чисельні методи. Для задачі відновлення параметрів мовного тракту за вимірюваним сигналом на виході використовується математичний апарат розв'язування обернених задач. Проблемам розв'язування мовних обернених задач присвячена, зокрема, робота [15].

Для моделювання розповсюдження акустичних хвиль у мовному тракті як у неоднорідній акустичній трубі, що починається між голосовими зв'язками та закінчується губами, використовується система рівнянь акустики в частинних похідних, яка записується у вигляді (4):

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\rho}{S(x)} \frac{\partial u}{\partial t},$$

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{S(x)}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t},$$
(4)

де $0 \leq x \leq L, t > 0$,

L – довжина мовного тракту;

$p(x, t)$ – тиск у тракті в момент часу t ;

$u(x, t)$ – об'ємна швидкість потоку;

ρ – густина повітря в тракті;

c – швидкість звуку;

$S(x)$ – функція площі поперечного перерізу.

Оскільки тракт має неоднорідний поперечний переріз, він ділиться на циліндричні секції однакової довжини з постійною площею перерізу.

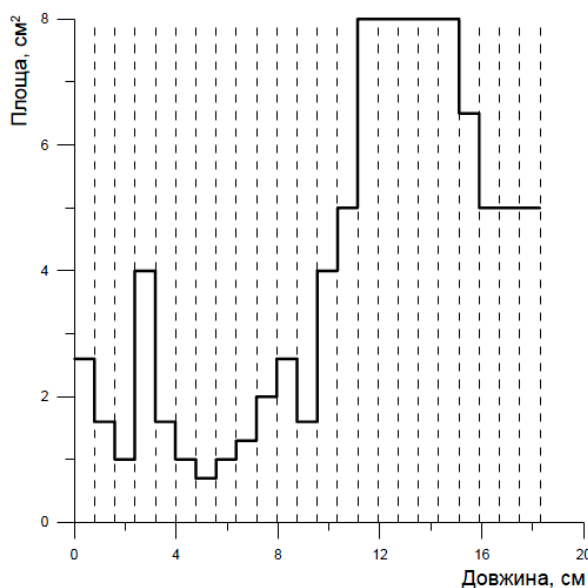


Рис. 1

На рис. 1 зображено наближення мовного тракту циліндричними секціями однакової довжини.

Для моделювання розповсюдження акустичних хвиль також може використовуватися рівняння Вебстера:

$$S(x) \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \frac{\delta}{\delta(x)} \left(S(x) \frac{\partial p}{\partial x} \right), \quad (5)$$

де x – просторова координата уздовж середньої лінії тракту в середньо-сагітальній площині;

t – момент часу;

$p(x, t)$ – шуканий тиск у тракті;

$S(x)$ – профіль площ поперечного перерізу вздовж тракту;

c – швидкість звуку в тракті.

Як крайова умова на вході в тракт вибирається похідна від потоку повітря

$$p(0, t) = - \frac{\rho}{S(0)} \frac{du_g(t)}{dt}.$$

Для розв'язування задачі (5) використовується скінченнорізницевий метод. Для розв'язування системи різницевих рівнянь використовується ітераційний метод послідовної верхньої релаксації.

Розглянемо задачу відновлення форми мовного тракту за вимірними акустичними параметрами сигналу на базі акустичного рівняння Клейна – Гордона [7]. Для цього вводиться нова змінна $\varphi(x, t)$, яка визначається за виразом:

$$\varphi(x, t) = P(x, t) S(x)^{1/2} \quad (6)$$

Це дає можливість сформулювати акустичне рівняння у формі Клейна–Гордона:

$$\frac{\partial^2 \varphi(x, t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\delta^2 \varphi(x, t)}{\delta x^2} - c^2 U(x) \varphi(x, t), \quad (7)$$

де $0 < x < L$, $0 < t \leq 0$,

Рівняння (11) має форму хвильового, де функція $U(x)$ визначена в термінах площі поперечного перерізу мовного тракту як:

$$U(x) = \frac{\delta^2 S(x)^{1/2} / \delta x^2}{S(x)^{1/2}}, \quad (8)$$

Мовна обернена задача визначається як задача знаходження функції $S(x)$ за вимірними параметрами мовного сигналу на виході з тракту. Математично ця задача розв'язується як задача пошуку мінімуму деякого функціонала за різного роду обмежень.

Нехай на виході з тракту вимірюється тиск $P(L, t)$, пов'язаний з розв'язком рівняння Клейна–Гордона співвідношенням (6). Позначимо через $\Phi(t)$ функцію, значення якої вимірюються на виході з тракту.

Задача зводиться до мінімізації функціонала

$$J(U) = \int_0^T (\Phi(t) - \varphi_U(L, t))^2 dt \quad (9)$$

де $\varphi_U(L, t)$ – розв'язок задачі (7) при заданій функції $U(x)$.

Для мінімізації функціонала (13) використовується градієнтний метод [12].

Приріст функціонала записується у вигляді:

$$\Delta J(U) = J(U + h) - J(U) = \int_0^T 2(\Phi(t) - \varphi_U(L, t)) \Delta \varphi dt + \int_0^T (\Delta \varphi)^2 dt,$$

де $\Delta \varphi = \varphi_{U+h}(x, t) - \varphi_U(x, t)$;

Для визначення градієнта функціонала будується спряжена задача, яка записується у вигляді:

$$\frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} - cU(x) \psi(x, t),$$

де $0 < x < L$, $0 < t \leq T$.

Градієнт функціонала визначається через розв'язок спряженої задачі за формулою $J' = -\Phi \Psi$.

Точність розв'язку оцінюється за процедурою ресинтезу: синтезований за знайденим розв'язком сигнал має мало відрізнятися від вихідного сигналу, за параметрами якого розв'язувалася обернена задача.

Для вивчення голосового джерела окрім функції потоку повітря використовується її похідна. Звичайний набір параметрів для кількісного опису коливань виводиться із залежності похідної потоку від часу і включає: амплітуду від'ємного піка, тривалість відкривання, тривалість закритої фази, проміжок часу між додатним і від'ємним піками, час повернення в початкове положення.

У сфері опрацювання мовних сигналів залишається ще багато не розв'язаних проблем. Однак при подальшому розвитку алгоритмів опрацювання мови мабуть дедалі більше буде враховуватися непостійність характеристик систем в часі, більше застосовуватимуться методи аналізу таких систем, як оптимальне управління і моделювання систем зі змінними параметрами.

Список використаних джерел

1. Сорокин В.К. Синтез речи / Сорокин В.К. – М. : Наука, 1992. – 392 с.
2. Вишнякова О.А. Автоматическая сегментация речевого сигнала на базе дискретного вейвлет-преобразования / О.А. Вишнякова, Д.Н. Лавров // Математические структуры и моделирование – 2011, – Выпуск 23. С. 43-48.
3. Давыдов А.Г. Использование периодичности речевого сигнала при фонемной сегментации речи / А.Г. Давыдов, Б.М. Лобанов // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, № 2, 2006. – С. 69-74.
4. Колоков А.С. Предварительная обработка и сегментация речевого сигнала в частотной области для распознавания речи / Колоков А.С. // Автоматика и телемеханика, № 6, 2003. – С. 152-162.
5. Д. Фланаган Анализ, синтез и восприятие речи / Д. Фланаган – М. : Связь, 1968. – 395 с.
6. Ishizaka K. Synthesis of Voiced Sounds From a Two-Mass Model of the Vocal Cords. / Ishizaka K., Flanagan J.L. // Bell Syst. Tech. Journal. – 1972. – Vol.51, № 6. – P. 1233-67.
7. Ishizaka K. Acoustic properties of longitudinal displacement in vocal cord vibration. / Ishizaka K., Flanagan J.L. // Bell Syst. Techn. Journal. – 1977. – Vol. 56, No.6. – P. 889-918.
8. Сысоев И.В. Реконструкция уравнений колебательных систем при наличии скрытых переменных и внешних воздействий: дисс. канд. физ.-мат. наук: 01.04.03 / И.В. Сысоев. – Саратов, 2007. – 150 с.
9. Kob, Malte K. Physical modeling of the singing voice: Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss./vorgelegt von Malte Kob.– Berlin: Logos-Verl., 2002. – 166 p.
10. A mechanical experimental setup to simulate vocal folds vibrations. Preliminary results / [Ruty N., Hirtum A., Pelorson X., Lopez I., Hirschberg A.]. – ZAS Papers in Linguistics, 2005. – Vol 40. – P. 161-175.
11. Rauma R.N. The effect of simulated nodules on vocal fold movement in a two-layer synthetic model: a thesis for the degree of master of science/Rauma R.N. – Brigham, 2009. – 58 p.
12. Vocal Tract Models. [Електронний ресурс] : Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Sophia University, Arai Laboratory (Speech Communication Laboratory). – Режим доступу до ресурсу: www.splab.ee.sophia.ac.jp/Vocal_Tract_Model/index-e.htm
13. Фант Гунер. Акустическая теория речеобразования: пер. с англ. / Гунер Фант; [под ред. Григорьева В.С.]. – М.: Наука, 1964. – 284 с.
14. Acoustic voice quality description: Case studies for different regions of the hoarseness diagram / [Frohlich M., Michaelis D., Stube H. W., Kruse E.]. – Erlangen: Advances in Quantitative Laryngoscopy, 2nd "Round Table", 1997. – pp. 143-150.
15. Леонов А.С. Обратная задача для управления артикуляцией / А.С. Леонов, В.Н. Сорокин // Доклады РАН. – 2000. – Т. 374, № 6. – С. 749-753.

Ільясова Ф.С.

РВНЗ «Кримський інженерно-педагогічний університет»

Форми проведення лабораторних занять з дисципліни «Технологія розробки програмного забезпечення»

Сьогодні якісна підготовка майбутніх фахівців є важливою для формування не тільки особистості окремої людини, але й суспільства в цілому. Різноманітні програмні засоби знаходять своє застосування в усіх сферах людської діяльності: освіта, наука, культура, мистецтво і т. д. Тому важлива якісна підготовка у вищих навчальних закладах майбутніх фахівців в галузі програмування і впровадження в найрізноманітніші сфери людської діяльності сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

Існує безліч форм проведення занять у вищих навчальних закладах, основні з них: лекція, семінар, лабораторне (практичне) заняття. На лекціях розглядаються основні теоретичні положення тієї чи іншої дисципліни. В процесі навчання на лекціях студенти отримують велику кількість різних відомостей. На лабораторних заняттях студенти практично закріплюють отримані на лекціях знання,