ОРГАНІЗАЦІЯ ТАКТИЛЬНОГО ТРАФІКА В МЕРЕЖІ 6G

І.І. Діхтярук, А.В. Булашенко; С.І. Пільтай;

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського

kotovan99@i.ua, an_bulashenko@i.ua, s.piltai@kpi.ua

Останнім часом широкого поширення набувають сучасні методи обробки інформації за допомогою поляризаційної обробки [1-9] та за допомогою мереж безпроводного зв'язку 5G та 6G. До технологій цих мереж відносять взаємодію між абонентами D2D [10-14], взаємодію між пристроями M2M [15-16], взаємодія у сенсорних безпроводних гетерогенних мережах [17] та технології тактильного Інтернету.

Тактильний Інтернет в 6G передбачає передачу у реальному часі інформації для віддаленого керування фізичними або віртуальними об'єктами через Інтернет. Тактильний Інтернет дозволяє використовувати дистанційну роботу на основі тактильного зв'язку.

На рис. 1 наведена схема типової двобічної телеоперативної системи взаємодії із комунікаційною мережею.

Рис. 1

Із рис. 1 видно, що система взаємодіє через пристрій HSI, що відображає тактильну взаємодію із віддаленим тактильним оператором TOR для людського оператора HO. На основі сприймаємої зони нечутливості скорочення даних може бути розгорнуте із втратами механізму стискання. Це можливо оскільки люди не можуть розрізняти досить малі відмінності в тактильних стимулах. Людське сприйняття тактильної чутливості можна використовувати для зниження швидкості тактильних пакетів. Закон Вебера визначає лише помітну різницю (JND), тобто мінімальну зміну величини стимулу, що може бути виявлений. В результаті цей закон є причиною кодування зони нечутливості. В цій методиці тактильний зразок передається лише у випадку його зміни відносно раніше переданої тактильної вибірки, що перевищує задане граничне значення.

Розглянемо характеристики тактильного Інтернету для набору тактильних слідів, що отримані у результаті телеопераційних дослідів за участі TOR. На рис. 2 наведена гістограма експериментального часу взаємодії пакетів для шляху команди (рис. 2 а) та шляху зворотного зв'язку (рис. 2. б) .

Рис 2

На рис. 2 а зображена гістограма часу взаємодії пакетів $I(c)$ у командному шляху, отриманому зі слідів телеоперації 6-DoF, причому час найбільш частого взаємодії пакетів, як очікується, буде центрований на 1 мс через частоту дискретизації за замовчуванням 1 кГц. Гістограма часу взаємодії пакетів $I(f)$ на шляху зворотного зв'язку (від TOR до НО) показана на рис. 2 б. Відзначимо, що шлях зворотного зв'язку відрізняється від шляху команди тим, що він демонструє два піки. Один знаходиться приблизно на 0,75 мс, а інший знаходиться на 1,25 мс. Отже два піки існують, оскільки датчики сили та рухомого моменту TOR працюють з двома дещо різними частотами дискретизації вище і нижче 1 кГц.

На рис. 3 показаний додатній вплив кодування зони нечутливості на пониження швидкості тактильних пакетів в тракті зворотного зв'язку та в тракті команд.

Рис 3

У командному тракті параметр зони нечутливості лише $dc=0,02\%$ зменшує середню швидкість передачі пакетів $\lambda_c(dc)$ приблизно до 600 пакетів/с, що веде до зменшення швидкості тактильних пакетів на 39,5% порівняно із випадком без кодування зони нечутливості ($dc = 0$). Із рис. 3 а, $\lambda_c(dc)$ додатково зменшується при збільшенні постійного струму та вирівнюється за постійного струму більше 0,1%. Із рис. 3б бачимо, що кодування зони нечутливості менше ефективно у тракті зворотного зв'язку, де для зменшення середньої швидкості передачі пакетів $\lambda_f(df)$ необхідний високий параметр зони нечутливості, як $df = 20\%$ приблизно до 600 пакетів/с.

Отже, проведений аналіз шляху дає важливу інформацію про відомості о статистиці тактильного інтернет-трафіка. Більш систематичний підхід, спрямований на вивчення додаткових тактильних шляхів різноманітних типів дослідів телеоперації, буде сприяти точній перевірці розподілу часу між прибуттями пакетів.

Список літературних джерел

1. Piltyay S., Bulashenko A., Kushnir H., Bulashenko O. (2020) Information resources economy in satellite systems based on new microwave polarizers with tunable posts, Path of Science, vol. 6, no. 11, pp. 5001–5010, 2020. DOI: 10.22178/pos.55-1.

2. Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kalinichenko Y.I., Bulashenko O.V. (2020) Tunable square waveguide polarizer with irises and posts. Technical Engineering, Vol. 86, No. 2, pp. 108–116. (in Ukrainian). [http://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-108-116](http://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-108-116).

3. Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Kushnir H.S., Bulashenko O.V. (2020) Compact waveguide polarizer with three antiphase posts, Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute, Vol. 5, pp. 97–104. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-152-5-97-104>.

4. Bulashenko A.V., Piltyay S.I. (2020) Equivalent microwave circuit technique for waveguide iris polarizers development, Visnyk NTUU KPI Seriia – Radiotekhnika, Radioaparatabuduvannia, Vol. 83, pp. 17–28 (2020). <http://doi.org/10.20535/RADAP.2020.83.17-28>.

5. Bulashenko A.V., Piltyay S.I., Demchenko I.V. (2020) Optimization of a polarizer based on a square waveguide with irises. Science-Based Technologies, Vol 47, No 3, pp. 287–297. (in Ukrainian). <http://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14878>.

6. Piltyay S.I., Bulashenko A.V., Kalinichenko Ye.I., Bulashenko O.V. (2020) High performance waveguide polarizer for satellite information systems, Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu, Vol. 4, pp. 14–26. (in Russian). DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.217129